



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université M'Hamed Bougara Boumerdes
Faculté de technologie.

Mémoire de fin d'étude Master

Filière : Génie mécanique

Option : Installation Énergétique Et Turbomachine

Thème

**Contribution à l'Analyse Energétique des
Performances de la Nouvelle Centrale à cycle combiné
(Turbine à gaz /Turbine à vapeur) Cap Djinet**

Réalisé par :

- **Difallah soumia**
- **Saffah nesrine**

Suivi par :

M_a. Bahloul. H

Encadré par :

M_r. hammoudi .M

2019/2020

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu tout puissant, notre créateur, qui nous a donné la force et la persévérance pour réaliser ce travail.

Nous remercions également madame Bahloul Hassiba notre promoteur de mémoire pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses précieux conseils et sa disponibilité.

Nous tenons également à adresser nos remerciements à notre encadreur Mr Hamoudi Moussa qui nous a accordé son soutien, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et valoriser notre travail.

Nous tenons ainsi à remercier
L'ensemble du personnel de la centrale de Cap d'Jinet de Boumerdes et
particulièrement les membres du département exploitation

Nous tenons à remercier toute personne qui nous a encouragés de près ou de loin.

Soumia .Nesrine





Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mon très cher Père et à ma chère Mère. en témoignage et en

gratitude de leurs dévouement de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études,

leurs sacrifices illimités, pour tout cela et pour

ce qui ne peut être dit, mon affection sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage. à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

ma très adorable sœur asma.

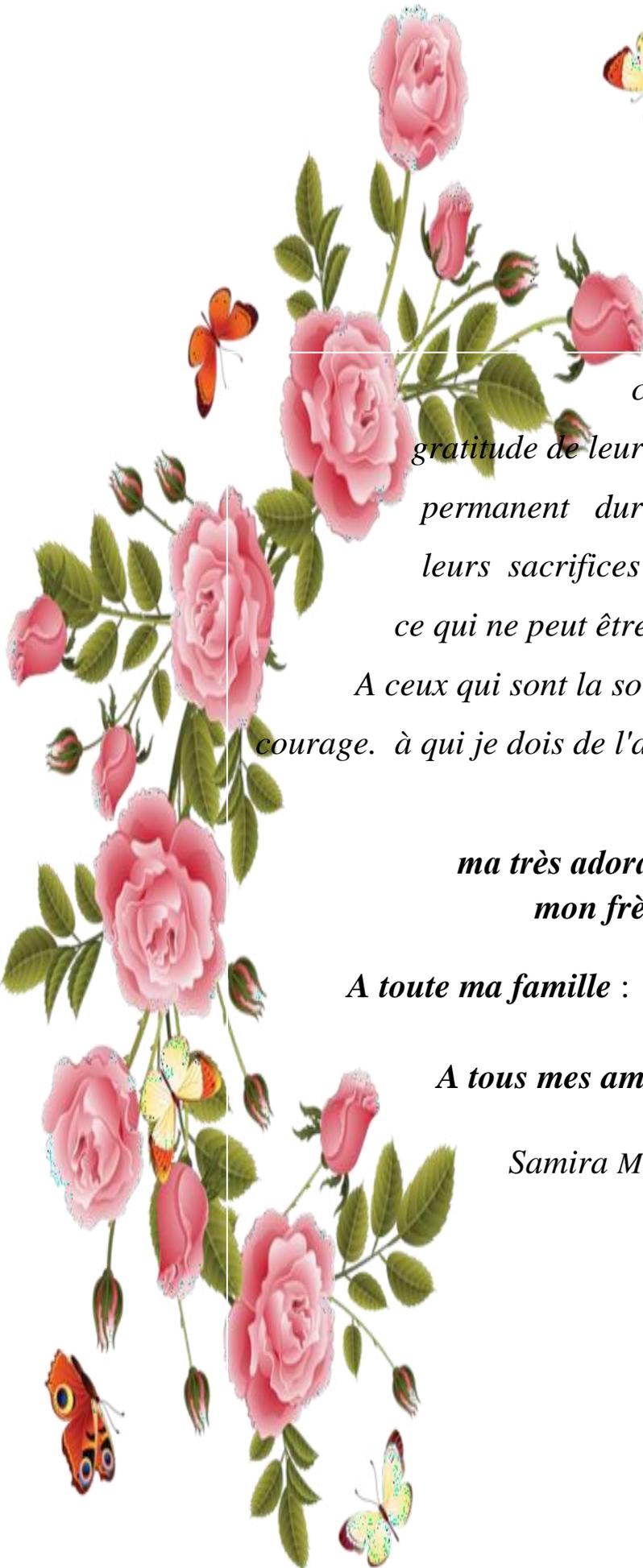
mon frère farouk.

A toute ma famille : Khaoula, Imane. Meriem, Rahil.

A tous mes amis : Chahinez , Nesrine ,Ibtissem,

Samira Meriem, Djihad, Rahim. djemai

DIFALLAH SOUMIA





Dédicaces

Je dédie ce mémoire à

*Mes chers parents que nulle dédicace puisse
exprimer mes sincères pour leur patience
illimitée, leur encouragement contenu, leur aide,
en témoignage de mon profond amour et respect pour
leurs grands sacrifices
à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.*

mes très adorables sœurs

Hannan, Nawal.

Et mes frères

Tofike, Halim, Amine.

A tous mes amis

Soumia, Ibtissame, Mereim, Samira

SAFFAH NESRINE

Table de matière

Remerciement

Dédicaces

Table de matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Nomenclature

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de la nouvelle centrale Cap Djinet

Introduction	1
I.1.historique.....	1
I.2. Rôle de la nouvelle centrale thermique	2
I.3. Principaux éléments constituant une tranche de Production	3
I.3.1. La chaudière	3
I.3.2. La turbine	5
I.3.3. L’alternateur	6
I.3.4. Générateur	7
I.3.5. Le transformateur	7
I.3.6. Le poste d’eau	8
a. Le condenseur	8
b. La bêche alimentaire	10
c. Le dégazeur	10
d. Les pompes	10
I.3.7. Salle de commande	11
I.4. Caractéristique thermique de la centrale	12
I.4.1. Une station de production d'hydrogène	12
I.4.2. Un poste de détente gaz	12
I.4.3. Un poste de stockage du fuel	12
I.4.4. Une station de pompage de l’eau de mer	12
I.4.5. Une station de traitement de l’eau de mer	13
a. Une unité d’électro chloration	13
b. Une station de dessalement	13
c. Une station de déminéralisation	13
I.5. Fonctionnement d’une tranche de production	13

Conclusion	15
------------------	----

Chapitre II: généralités sur les systèmes hybrides (à cycle combinée)

Introduction	16
II.1. Turbine à gaz	16
II.1.1. Définition	16
II.1.2. Fonctionnement de la turbine à gaz	16
II.1.3. Les éléments d'une turbine à gaz	17
II.1.4. Classification des turbines à gaz	18
II.1.5. Historique	19
II.1.6. Les types de turbine à gaz	19
II.1.7. Les cycles thermodynamiques	20
a. Cycle de base (Cycle de Joule)	20
b. Cycle de Joule avec récupérateur (régénération)	21
c. Cycle de Joule avec « intercooler »	21
d. Cycle de Joule avec détente fractionnée	22
II.2. Turbine à vapeur	24
II.2.1 Définition	24
II.2.2. Historique	24
II.2.3. Principe de fonctionnement de la turbine à vapeur	25
II.2.4. Classification des turbines à vapeur	25
II.2.5. Applications des turbines à vapeur	26
II.6. Les cycles thermodynamiques	27
a. Cycle de Rankine	27
b. Cycle de Hirn	29
1. Cycle de Hirn avec resurchauffe	30
2. Cycle supercritique	32
II.2.7. Comparaison entre la turbine à gaz et la turbine à vapeur	33
II.3. Cycle combiné	33
II.3.1. Introduction.....	33
II.3.2. Définition	33
II.3.3. Historique du cycle combiné	34
II.3.4. Principe de fonctionnement	35
II.3.5. Les types d'installation de cycle combiné	36

II.3.7. Diagramme entropique d'un cycle combiné	37
II.3.8. Analyse énergétique du cycle combiné (gaz-vapeur)	38
II.3.9. Caractéristiques d'un cycle combiné	38
Conclusion	39

Chapitre III: La production d'énergie électrique

Introduction	40
III.1. Evolution de production électrique par ordre d'installation	40
III.1.1. Centrale diesel :	40
a. les avantages et inconvénients des centrales diesel	41
III.1.2. Centrale Thermique à vapeur :	41
a. Avantages et inconvénients de la centrale vapeur	42
III.1.3. Centrale hydroélectrique :	42
a. Centrales hydroélectriques en Algérie	43
b. Avantages et inconvénients des centrales Hydroélectriques :	43
III.1.4. Centrale Thermique à gaz	43
a. Transformations d'énergie	44
b. Avantages et inconvénients des centrales thermiques à gaz	44
III.1.5. Centrale à cycle combiné.....	45
a. Production de l'électricité à partir des centrales thermiques à cycle Combiné	45
c. Avantages et inconvénients des centrales à cycle combiné	46
III.1.6. Centrale Hybride	47
a. Avantages et inconvénients de la centrale hybride	47
III.1.7. Centrale Eolienne	47
a. Avantages et inconvénients des centrales éoliennes.....	48
III.1.8. Centrale Photovoltaïque	48
a. Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque	49
III.1.9. Centrale géothermique.....	49
a. Avantages et Inconvénients de l'énergie géothermique	50
Conclusion :.....	51

Chapitre VI : Etude énergétique de la nouvelle centrale à cycle combiné

Introduction	52
VI.1. Description de la nouvelle centrale	52
VI.2. Paramètres de fonctionnement	54
VI.3. Calcul des caractéristiques thermodynamiques de la nouvelle centrale.....	55
VI.3.1 Le rendement de cycle.....	56
VI.3.2. Les différentes parties de la nouvelle centrale	57
a. Partie de la turbine à gaz.....	57
b. Partie de la chaudière.....	60
c. Partie de la turbine à vapeur	61
d. Partie de la pompe	64
Conclusion.....	66
Conclusion générale	

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de la nouvelle centrale Cap Djinet

Figure I. 1 : la centrale thermique de Cap Djinet .	1
Figure I. 2 : Station thermique de la nouvelle centrale de Cap-Djinet.	2
Figure I. 3 cycle de la nouvelle centrale de Cap djinet.	3
Figure I. 4 : Composants de la chaudière (HRSG)	5
Figure I. 5 : Le Condenseur.	9
Figure I. 6 : Schéma d'ensemble dégazeur-bâche alimentaire.	10
Figure I. 7 : Salle de commande de la nouvelle centrale	12
Figure I. 8 : principales transformations d'énergie.	14

Chapitre II : généralités sur les systèmes hybrides (à cycle combinée)

Figure II. 2 : Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné.	17
Figure II. 3 : Composants de la turbine à gaz.	18
Figure II. 4 : Classification des turbines à gaz.	18
Figure II. 5 : Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.	19
Figure II. 6 : Schéma d'une turbine à gaz à deux lignes d'arbres.	20
Figure II. 7 : Cycle de Joule (idéal et réel) sur un diagramme (T, S).	20
Figure II. 8 : Schéma d'un cycle de Brayton	21
Figure II. 9 : Cycle de Brayton sur Diagramme (T, S).	21
Figure II. 10 : Principe de fonctionnement du cycle «intercooler».	22
Figure II.11: Cycle de Joule «intercooler».	22
Figure II. 12 :Principe de fonctionnement du cycle de Joule avec détente fractionnée.	23
Figure II. 13 : Cycle de Joule avec détente fractionnée .	23
Figure II. 14 : Vue en coupe de la turbine vapeur.	24
Figure II. 15 : schéma de principe d'un cycle de Rankine.	27
Figure II. 16 : Diagramme (T-S) pour cycle de Rankine	28
Figure II. 17 :Diagramme p-v.	27
Figure II. 18 : Diagramme T-S .	27
Figure II. 19 : Diagramme h-s.	28
Figure II. 20 : L'installation motrice à vapeur fonctionnant sur la base d'un cycle de Hirn. ..	29
Figure II. 21 : Cycle de Hirn.	29
Figure II. 22 : Schéma dd'un cycle de Hirn avec surchauffée	30
Figure II. 23 : Cycle de Hirn avec soutirages de vapeur.	31
Figure II. 24 : cycle supercritique à deux resurchauffes.	32
Figure II. 25 : Schéma d'un cycle combiné.	34
Figure II. 26 : Schéma d'une installation à cycles combinés gaz-vapeur	35
Figure II. 27 : Configuration d'une installation cycle combiné mono-arbre.	36
Figure II. 28 : Les éléments de base de cycle combiné.	37
Figure II. 29 : Diagramme (T-S) d'un cycle combiné.	37

Chapitre III : La production d'énergie électrique

Figure III. 1 : Schéma d'une centrale Diesel	40
Figure III. 2 : Schéma d'une centrale thermique à vapeur.....	41
Figure III. 3 : Schéma d'une centrale hydroélectrique.	42
Figure III. 4 : Schéma d'une centrale a turbine de gaz.	44
Figure III. 5 : Schéma d'une centrale à cycle combiné.....	45
Figure III. 6 : Schéma d'une Centrale éolienne.	47
Figure III. 7 : Schéma d'une centrale photovoltaïque.....	48
Figure III. 8 : Energie géothermique	50

Chapitre IV : Etude énergétique de la nouvelle centrale à cycle combiné

Figure VI. 1 : Schéma d'installation d'un cycle combiné gaz-vapeur.	54
Figure VI. 2: Schéma simplifié da la nouvelle installation.	56
Figure VI. 3: Schéma de la turbine à gaz.	57
Figure VI. 4: la chaudière de la nouvelle centrale.....	61

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation de la nouvelle centrale Cap Djinet

Tableau I. 1 : Mise en service de la Centrale	2
Tableau I. 2 : Les caractéristiques des différents corps de la turbine.....	6
Tableau I. 3 : Les caractéristiques de l’alternateur.....	6
Tableau I. 4 : Caractéristiques techniques de générateur.	7
Tableau I. 5 : Les caractéristiques de condenseur.	9
Tableau I. 6 : Les caractéristiques des pompes d’extraction.....	11
Tableau I. 7 : Les caractéristiques des pompes alimentaires.....	11

Chapitre II : Généralités sur les systèmes hybrides (à cycle combinée)

Tableau II. 1 : Comparaison entre la TG et la TV.....	33
---	----

Chapitre III : La production d’énergie électrique

Tableau III.1: Avantages et inconvénients des centrales diesel	41
Tableau III.2: Avantages et Inconvénients des centrales Thermiques à vapeur.	42
Tableau III.3 :Production électrique par des centrales hydroélectriques en Algérie.....	43
Tableau III.4: Avantages et inconvénients des centrales Hydroélectriques.....	43
Tableau III.5: Avantages et Inconvénients de la centrale thermique a gaz.....	44
Tableau III.6: Evaluation de la puissance installée par producteur.....	46
Tableau III.7: Avantages et inconvénients des centrales à cycle combiné	46
Tableau III.8: Avantages et Inconvénients des centrales hybrides	47
Tableau III.9: Avantages et Inconvénients des centrales éoliennes	48
Tableau III.10: Avantages et Inconvénients de centrale photovoltaïque	49
Tableau III.11: Avantages et Inconvénients de centrale géothermique.	50

Chapitre VI : Etude énergétique de la nouvelle centrale à cycle combiné

Tableau VI. 1 : Les Paramètres de fonctionnement de la nouvelle centrale	54
Tableau VI. 2 : Les Paramètres de fonctionnement de la nouvelle centrale	55
Tableau VI. 3: Les Paramètres thermodynamiques de turbine à gaz Cap Djinet.....	58
Tableau VI. 4: les capacités calorifiques.....	59
Tableau VI. 5: résultats après les calculs.	59
Tableau VI. 6: Les paramètres thermodynamique de turbine à vapeur.....	62
Tableau VI. 7: Les Paramètres thermodynamiques de turbine à vapeur Cap Djinet.	63
Tableau VI. 8: résultats après les calculs.	64
Tableau VI. 9: récapitulatif des performances de nouvelle l’installation de Cap-Djinet.	66

Nomenclature

Notation et symbole		
Symboles	Unité	Signification
W_{net}	KJ/Kg	Le travail net
W_P	KJ/Kg	Travail de pompe
Q_{ch}	KJ/Kg	Chaleur fournie
$W_{T,TG}$	KJ/Kg	Travail total de turbine gaz
h	KJ/Kg	Enthalpie massique
η_{th}	%	Rendement théorique
W_C	KJ/Kg	travail de compresseur
W_{CYC}	KJ/Kg	Le travail total de cycle combiné
PCI	KJ/Kg	Pouvoir calorifique inferieur
C_p	[kJ/kg.K]	Capacité calorifique
Q_m	Kg/s	débit de la vapeur sortante de la chaudière
$W_{T,TV}$	KJ/Kg	Le travail total de la turbine vapeur
W_{utile}	KJ/Kg	Travail utile de la turbine

Abréviations	Définition
HP	Haute pression
BP	Basse pression
HSRG	Heat recovery steam generator
MP	Moyenne pression
TV	Turbine vapeur
TG	Turbine gaz
TC	Turbine à combustion
CC	Chambre de combustion
SONELGAZ	Société Nationale Electricité

Résumé

Cette étude est une contribution à la détermination des performances énergétiques de la nouvelle centrale à cycle combiné, récemment mis en marche en juin 2019. Cette étude nous a permis l'application de toutes les connaissances déjà acquis dans le cursus universitaire dans le domaine énergétique, tel que les notions thermodynamiques : température, pression, enthalpie, travail, quantité de chaleur et le rendement. Nous sommes arrivés à retrouver des résultats assez satisfaisants selon para port à celle déjà calculés à Cap Djinet.

Mots clés : performances, cycle combiné, énergétique, rendement.

Abstract

This study is a contribution to determining the energetic performances of the new combined cycle power plant, recently commissioned in June 2019. This study has enabled us to apply all the knowledge already acquired in the university course in the energy field, such as thermodynamic notions: temperature, pressure, enthalpy, work, quantity of heat and efficiency. We managed to find fairly satisfactory results depending on the port to that already calculated at Cap Djinet.

Keys words: performances, combined cycle, energetic, efficiency .

ملخص

هذه الدراسة هي مساهمة في تحديد أداء الطاقة لمحطة الطاقة الجديدة ذات الدورة المركبة، والتي تم تشغيلها مؤخرًا في يونيو 2019. وقد مكنتنا هذه الدراسة من تطبيق كل المعرفة المكتسبة بالفعل في الدورة الجامعية في مجال الطاقة، مثل المفاهيم الديناميكية الحرارية: درجة الحرارة، الضغط، المحتوى الحراري، العمل، كمية الحرارة والكفاءة. تمكنا من العثور على نتائج مرضية إلى حد ما اعتمادًا على المنفذ المحسوب بالفعل في المحطة الحرارية كاب جنات.

الكلمات المفتاحية: الأداء، الدورة المركبة، الطاقوية، المرود.

Introduction générale

Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement en périodes estivales, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel.

En Algérie, l'énergie électrique est produite, principalement, à partir du gaz naturel.

La part de la puissance installée de l'ensemble des centrales utilisant cette énergie primaire dépasse les 96%, le reste des énergies employées se répartit entre le gasoil dans les centrales diesel et l'eau dans les centrales hydroélectriques.

Le gaz est utilisé dans des centrales thermiques à vapeur, à gaz, ainsi que dans les centrales à cycle combiné. SONELGAZ a deux façons de développer son plan de production par l'exploitation et le développement de ses centrales actuelles, ou par création de nouvelles centrales telle que la centrale Alger Port ou la nouvelle centrale à cycle combiné de Cas Djinet. L'objectif de notre travail est déterminer le rendement énergétique d'une nouvelle centrale récemment conçue (mars 2019) à cycle combiné.

Pour ce faire nous avons rédigé quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à faire une présentation générale de la société dans laquelle nous avons effectué notre stage de fin d'études afin de bien illustrer au lecteur toutes les parties composantes de cette nouvelle centrale.

Des généralités sur les systèmes hybrides sont présentés dans le chapitre deux.

C'est dans le chapitre trois que nous avons présenté une étude théorique de tous les systèmes de production de l'énergie électrique dont la nouvelle centrale à cycle combiné y compris ainsi que les avantages et les inconvénients de chacune d'elle.

Une étude énergétique bien détaillée de cette nouvelle centrale à cycle combiné (gaz /vapeur) est effectuée dans le chapitre quatre.

Nous terminons en fin par une conclusion.

Chapitre I :

Présentation de la nouvelle centrale Cap Djinet

Introduction

La centrale de Cap Djinet est située à l'est de la capitale Alger dans la wilaya de Boumerdès. Elle occupe une superficie de 35 hectares.

La centrale électrique à cycle combiné de Cap Djinet d'une capacité de 1113 Mégawatt, entrée en production avec toutes ses capacités en **juin 2019** et réceptionnée officiellement et définitivement, en **mars 2020**.

La Centrale de Cap Djinet (relevant de la Sonelgaz) est formée de trois turbines fonctionnant en cycle combiné (30% vapeur et 70 % gaz), dotée chacune d'une capacité de production de 400 mW d'électricité/Heure, soit un total de 1113mgt pour les trois.

A noter que l'énergie électrique produite au niveau de cette Centrale est transférée respectivement vers deux transformateurs (400 volt chacun) à Si Mustapha et El Affroune (Blida), au moment ou un 3ème transformateur est prévu à l'avenir à Akbou (Béjaia), avant le transfert de cette électricité vers le réseau national de transport d'électricité.

Cap Djinet est l'une des centrales thermiques vise à la production de l'électricité en Algérie, c'est une société de production, qui contient diverses stations, équipements et ses auxiliaires. Dans ce chapitre nous ferons connaitre tous les détails appartenant à cette centrale.



Figure I. 1 : la centrale thermique de Cap Djinet .[1]

I.1.historique

La centrale a été construite par un consortium Austro-allemand : **Kwu** « **Kraftwerk-AG** de **RFA** », **SGP** « **Simmering GRAZ Pauker** d'Autriche » et **Siemens** d'Autriche également qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et de contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole **DRAGADOS** à laquelle a

été confiée la réalisation de la prise de l'eau de mer.

Les principales entreprises algériennes qui ont participé à la réalisation de la centrale sont les suivantes : **GENISIDER** : (réalisation des terrassements généraux, de tout le génie civil, réalisation de la station de pompage et mise en place des tuyauteries de refroidissement); **INERGA**: (réalisation du génie civil de la base inter-entreprises), **S.N.L.B**: (fourniture et montage de la base inter-entreprises de chantier), **PROSIDER**: (fourniture et montage de tous les hangars du chantier), **ENATUB** (fourniture des tuyauteries constituant le circuit de refroidissement), **SNIC** (sablage et peinture); **SONATRAM** (travaux de dragage en mer), **SOGEP** (travaux de peinture).[2]

Mise en service de la Centrale :

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

Tableau I. 1 : Mise en service de la Centrale.

Groupe 1 : couplage sur réseau le 17/06/86	Groupe 3 : couplage sur réseau le 29/11/86
Groupe 2 : couplage sur réseau le 17/09/86	Groupe 4 : couplage sur réseau le 21/02/87

I.2. Rôle de la nouvelle centrale thermique

Le rôle d'une centrale thermique est de transformer l'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquides et vapeur.



Figure I. 2 : Station thermique de la nouvelle centrale de Cap-Djinet.

I.3. Principaux éléments constituant une tranche de Production [1]

La centrale thermique de Cap Djinet est composée de plusieurs organes importants pour la production de l'électricité et qui influent directement sur le rendement global, ces organes sont :

- Les turbines (TV, TG).
- L'alternateur.
- Générateur.
- Le transformateur.
- Le poste d'eau. (Condenseur, bêche alimentaire, pompes d'extraction et d'alimentation, éjecteur, réchauffeurs basse et haute pression).

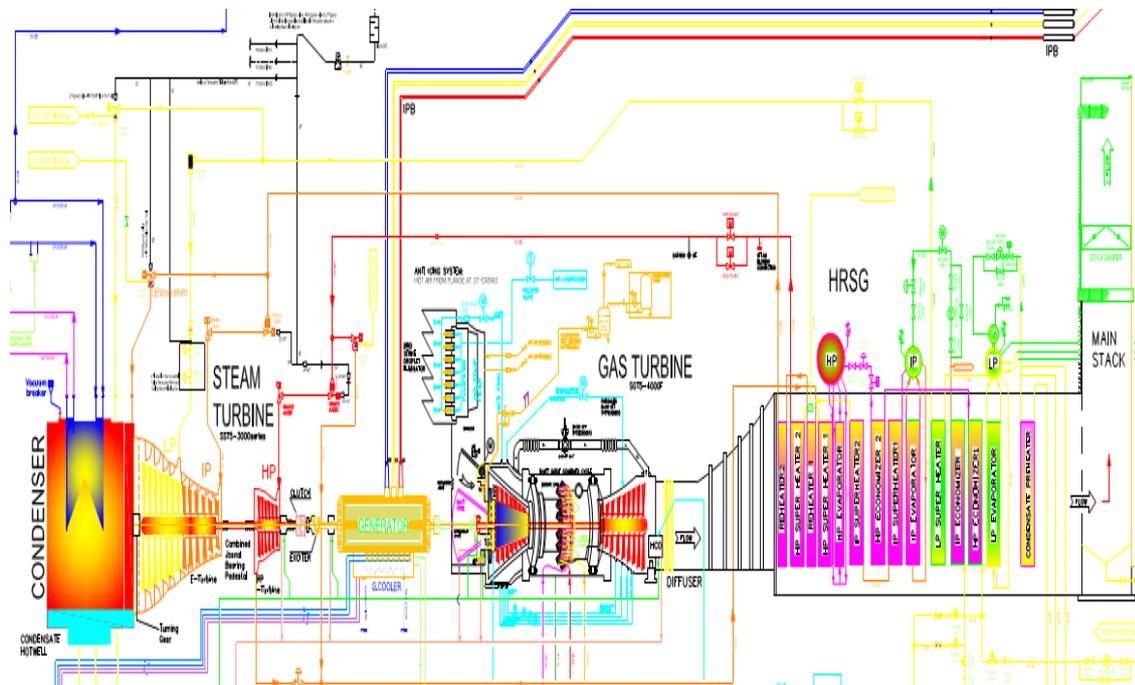


Figure I. 3 cycle de la nouvelle centrale de Cap Djinet.

I.3.1. La chaudière

La chaudière est la source chaude de la centrale, elle permet de transformer l'eau en vapeur resurchauffée à haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur. La chaudière est de type à "circulation naturelle" avec chambre de combustion pressurisée et avec resurchauffeurs, c'est l'élément le plus essentiel et le plus volumineux dans le circuit thermique. Elle consiste l'objet principal de notre étude.

➤ **Ballon vapeur pour chaque niveau de pression (HP, MP et BP)**

Le ballon vapeur est conçu pour séparer le mélange de vapeur et d'eau pour fournir de la vapeur saturée aux surchauffeur et pour absorber les à-coups de l'évaporateur pendant les transitoires de démarrage et de fonctionnement.

➤ **Sections économiseur pour chaque niveau de pression (HP, MP et BP)**

La fonction principale de la section économiseur du HSRG est de préchauffer l'eau de condensation (pour économiseur BP) ou bien l'eau d'alimentation (pour économiseur MP et économiseur HP).

➤ **Sections évaporateur pour chaque niveau de pression (BP, MP et HP)**

L'eau de condensation traversant la section économiseur entre dans le ballon vapeur et est répartie surtout la longueur du ballon par un collecteur de distribution où il se mélange à l'eau saturée revenant de la section évaporateur. L'eau saturée est extraite du fond du ballon vapeur LP et traverse la section de l'évaporateur par le processus de circulation naturelle.

L'eau saturée entre dans le collecteur situé au fond de l'évaporateur et s'écoule vers le haut par évaporation dans les tubes de l'évaporateur. La section évaporateur fonctionne essentiellement à température constante.

➤ **Sections surchauffeur pour chaque niveau de pression (BP, MP et HP)**

La vapeur saturée est extraite du ballon vapeur vers le collecteur d'entrée de la surchauffeur, puis s'écoule à travers la structure grillagée des tubes à ailettes vers le collecteur de sortie. Le débit de vapeur est à courant du débit des gaz d'échappement. La section surchauffeur élève la température de la vapeur depuis la température de

Saturation jusqu'à une température de surchauffe conforme aux exigences de la turbine à vapeur basse pression.

➤ **Section réchauffeur (pour la section MP)**

La fonction principale de la section réchauffeur est de chauffer la vapeur de réchauffage à froid jusqu'à la température de vapeur de réchauffage à chaud.

➤ **Dégazeur intégral ballon BP**

Le dégazeur a pour fonction d'éliminer les gaz non condensables comme l'O₂ et le CO₂ des condensats lors du remplissage initial de la chaudière et du démarrage de l'installation. Il fait

partie intégrante du ballon basse pression (BP). Le ballon BP agit comme un réservoir de stockage pour le dégazeur.

- Cheminée HSRG avec silencieux La cheminée du HRSBG et son silencieux sont fournis pour acheminer les gaz d'échappement de la turbine à gaz depuis la sortie du HRSBG vers l'atmosphère. Des ports d'échantillonnage sont fournis dans la cheminée pour les contrôles d'émission. Les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz font du bruit. De ce fait, un silencieux est fourni afin de réduire le bruit en sortie de cheminée.

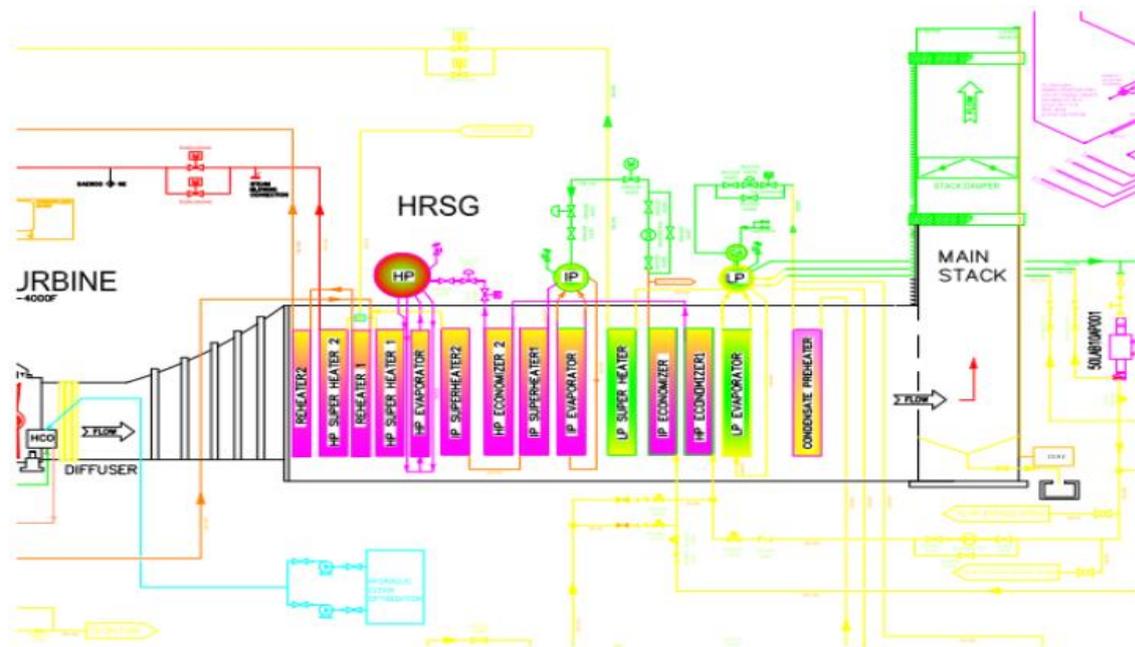


Figure I. 4 : Composantes de la chaudière (HRSBG)

I.3.2. La turbine

Elle a pour rôle de transformer l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

La turbine est composée de trois corps :

Haute pression HP, moyenne pression MP et basse pression BP. Elle comporte six 06 soutirages qui alimentent 03 réchauffeurs basses pressions BP, 02 réchauffeurs hautes pressions HP, et la bêche alimentaire. Le rotor de la turbine est accouplé avec l'alternateur, et l'ensemble tourne à une vitesse constante réglée à 3000 tr/mn.

✓ **Caractéristiques des différents corps de la turbine****Tableau I. 2** : Les caractéristiques des différents corps de la turbine

	Corps HP	Corps MP	Corps BP
Pression admission	138 bars	35,9 bars	5,5 bars
Débit de vapeur	523 t/h	407,9 t/h	40 t/h
Température de vapeur	535 °C	535 °C	282,5 °C
Nombre d'étages à réaction	23	2*20	2*8
Nombre d'étages à action	1	Aucun étage	Aucun étage
	Simple flux et Double enveloppe	Double flux et double enveloppe	Double flux et double enveloppe

I.3.3. L'alternateur

C'est un générateur d'électricité. Il sert à transformer l'énergie mécanique produite par l'arbre de la turbine en énergie électrique. C'est un alternateur à pôles lisses, et le courant électrique créé est un courant alternatif triphasé dont les caractéristiques sont :

Tableau I. 3 : Les caractéristiques de l'alternateur.

La puissance maximale produite	176 MW
La tension	15,5 KV
La fréquence	50 Hz
L'intensité du courant	8195 A

Cette transformation cède une grande quantité de chaleur ; d'où la nécessité de refroidir l'alternateur. Le refroidissement se fait par un circuit fermé à hydrogène qui est lui-même refroidi à l'eau déminéralisée.

I.3.4. Générateur

Le générateur est l'équipement électrique le plus important de toute la centrale électrique.

Le générateur est capable d'évacuer le courant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est connecté sans dépasser la limite de température admissible stipulée par la norme pertinente sur l'ensemble de la plage de température ambiante du site.

Ce générateur à arbre unique a été utilisé pour ce projet. Celui-ci est directement couplé à la turbine à gaz à une extrémité et couplé à la turbine à vapeur à l'autre extrémité grâce à un dispositif de serrage.

Les caractéristiques sont :

Tableau I. 4 : Caractéristiques techniques de générateur.

Niveau de défaut	40 kA pendant 1 s
Puissance apparent	431 MVA à 35 °C
Courant d'induit nominal	11 310 A
Tension d'induit nominal	22,00 kV \pm 5 %
Vitesse	3 000 tr/min
Facture de puissance	0,9 (inductif)
Excitation	Excitation statique
Type de refroidissement	Refroidi à l'hydrogène

I.3.5. Le transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

Vu que le courant électrique fourni par l'alternateur est d'une tension trop faible pour être transporté par des lignes aériennes de la haute tension ; celui-ci est raccordé à un transformateur élévateur de 15,5 à 220 KV, et une puissance de 220 MW à travers un

disjoncteur coupleur. Le refroidissement de transformateur se fait par une circulation forcée d'huile en circuit fermé qui est lui-même refroidie par l'air.

I.3.6. Le poste d'eau

Le poste d'eau comprend l'ensemble des appareils depuis l'échappement de la turbine jusqu'à l'entrée de l'économiseur de la chaudière et est constitué des éléments suivants :

- Le condenseur.
- La bêche alimentaire et le dégazeur.
- Les pompes (d'extraction et d'alimentation).
- Les réchauffeurs HP et BP.

a. Le condenseur

Le condenseur utilisé est un échangeur à échange par surface, il est placé sous le corps basse pression BP de la turbine. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans lesquelles passe l'eau de refroidissement de mer. L'échange de chaleur est de types fluides séparés à faisceaux tubulaires.

Les principaux rôles du condenseur sont :

- Assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuée du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de refroidissement.
- Augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression atmosphérique, afin d'obtenir un rendement de la turbine aussi élevé que possible.
- Dégazer le condensât et évacuer les incondensables.
- Recevoir également le condensât des réchauffeurs BP.

Le condenseur est constitué de deux demi-condenseurs où ils sont logés et dans lequel circule l'eau de mer. Cette conception permet de faire fonctionner un demi-condenseur pour un éventuel entretien du deuxième.

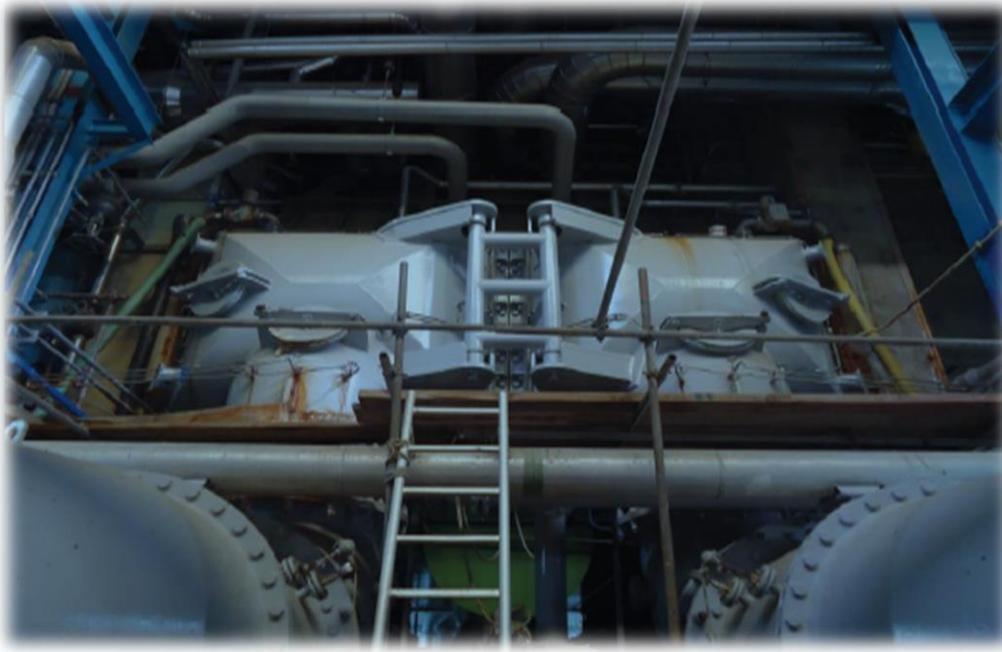


Figure I. 5 : Le Condenseur.

Ses caractéristiques sont :

Tableau I. 5 : Les caractéristiques de condenseur.

Surface d'échange	10101 m ²
Epaisseur de la paroi des tubes	0,7 mm
Vitesse de l'eau dans les tubes	1,8 m/s
Hauteur de la boîte à eau	2600 mm
Longueur des tubes	19 mm
Diamètre extérieur	11500 mm
Longueur total du condenseur	14965 mm
Température d'entrée	20 °C
Débit vapeur	98,25 Kg/s
Débit de l'eau de refroidissement	6500 Kg/s
Pression de condenseur	0,07 bar
Masse totale à vide	250 nnes

b. La bache alimentaire [1]

C'est un réservoir cylindrique où a lieu le dégazage de l'eau ; l'eau sortant des réchauffeurs basse pression BP se dirige vers la bache alimentaire, cette dernière joue le rôle d'un échangeur à mélange réchauffeur, l'eau est chauffée par la vapeur du soutirage S4 du corps moyenne pression MP de la turbine. L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression de soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.

Le niveau de l'eau et de vapeur reste constant pendant le fonctionnement du groupe. la bache alimentaire appelée aussi "la bache dégazant" parce qu'elle dégage les gaz étrangers incondensables vers l'atmosphère avec deux 02 tuyauteries d'évacuation.

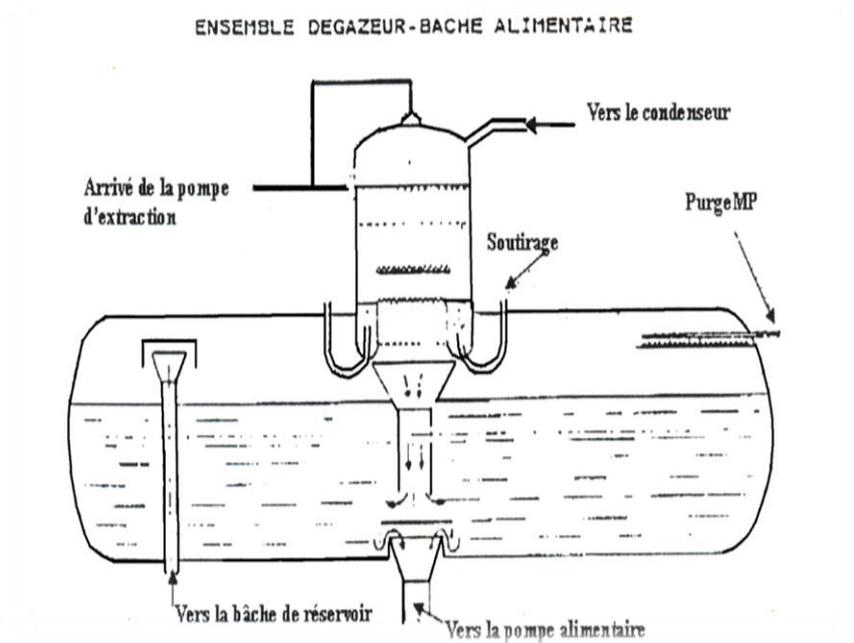


Figure I. 6 : Schéma d'ensemble dégazeur-bache alimentaire.

c. Le dégazeur [1]

Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz agressifs tel que l'oxygène et le gaz carbonique dissous dans l'eau alimentaire. Afin de protéger les installations telles que la chaudière. L'élimination des gaz agressifs se fait par l'évaporation des gaz dissous dans l'eau par l'augmentation de la température.

d. Les pompes [1]

On distingue deux types de pompes :

- **Les pompes d'extraction**

Ce sont des pompes centrifuges à quatre 04 étages, leur rôle est d'acheminer l'eau condensée (condensât) jusqu'à la bache alimentaire en traversant les trois 03réchauffeurs basse pression BP, les réfrigérants d'été, condenseur de buées ainsi que les éjecteurs de service.

Ses caractéristiques :

Tableau I. 6 : Les caractéristiques des pompes d'extraction.

Type de pompe	Centrifuges à 3 étages
Débit d'extraction	414 Kg/s
Vitesse de rotation	1419 tr/min
Puissance	300 KW
Tension	6,3 KV

- **Les pompes d'alimentation**

Elles ont pour rôle d'aspirer de l'eau de la bache alimentaire pour y refouler dans le réservoir de la chaudière en traversant les réchauffeurs haute pression HP et l'économiseur du générateur de vapeur.

Ses caractéristiques sont :

Tableau I. 7 : Les caractéristiques des pompes alimentaires.

Type de pompe	Centrifuges à 1 étage
Débit d'alimentation	2. 261 Kg/s
Pression d'aspiration	5,6 bars
Pression de refoulement	10,5 bars

I.3.7. Salle de commande

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande cette dernière comprend pour chaque paire de tranche :

- Deux (2) pupitres de conduites.
- Deux (2) tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les

appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.

- Un (1) tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques.



Figure I. 7 : Salle de commande de la nouvelle centrale .

I.4. Caractéristique thermique de la centrale [1]

I.4.1. Une station de production d'hydrogène

Son rôle est de produire l'hydrogène nécessaire pour le refroidissement des quatre 04 alternateurs de la centrale.

Sous une pression de 3 bars, en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidit à l'eau d'extraction.

I.4.2. Un poste de détente gaz

Il est composé de deux 02 lignes de filtration gaz, ainsi que trois 03 lignes de régulation pour la détente du gaz, de 60 à 6 bars.

I.4.3. Un poste de stockage du fuel

Ce sont deux 02 réservoirs d'une capacité de 10000 m³ chacun. Utilisés en cas d'absence de gaz ou de l'indisponibilité du poste gaz.

I.4.4. Une station de pompage de l'eau de mer

Trois conduites de 03 mètres de diamètres sont installées à une profondeur de 06 mètres de la surface de la terre avec une longueur de 900 mètres dans la mer, ce qui permet à l'eau de passer automatiquement vers le bassin par la différence de potentiel (de niveau). Avant qu'elle soit aspirée, l'eau passe par deux niveaux de filtrage :

- Par des grilles à grappins pour empêcher le passage des grands corps.
- Par des tambours filtrants pour empêcher le passage des petits corps.

➤ **Pompage d'eau de mer**

Le pompage s'effectue dans des puits situés après la station de filtrage, par trois groupes de pompes différents, pour le besoin de la centrale.

- Pompe d'alimentation en eau de mer de refroidissement.
- Pompe d'alimentation en eau de mer pour l'unité de dessalement.
- Pompe d'alimentation en eau de mer pour l'électro-chloration.

I.4.5. Une station de traitement de l'eau de mer

Elle comprend :

a. Une unité d'électro chloration

Elle a pour rôle de protéger le circuit d'eau de mer (condenseur, conduites ...) contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins. Elle se fait par injection d'une quantité de 150 kg/h d'hypochlorite de Sodium.

En condition de chloration continue, 104000 m³/h d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

b. Une station de dessalement

Quatre unités de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de 336 m³/jour pour chacune sont utilisées. L'eau de mer est vaporisée pour lui enlever le sel, puis condensée, en suite stockée dans deux bâches d'une capacité de 2700 m³ chacune.

c. Une station de déminéralisation

Deux chaînes de déminéralisation (Filtres à lit mélangés) de 40 m³/h chacune parachève le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau-vapeur. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux 02 réservoirs de 1500 m³ Chacun.

I.5. Fonctionnement d'une tranche de production

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il sera bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique.

En gros on a trois (3) transformations :

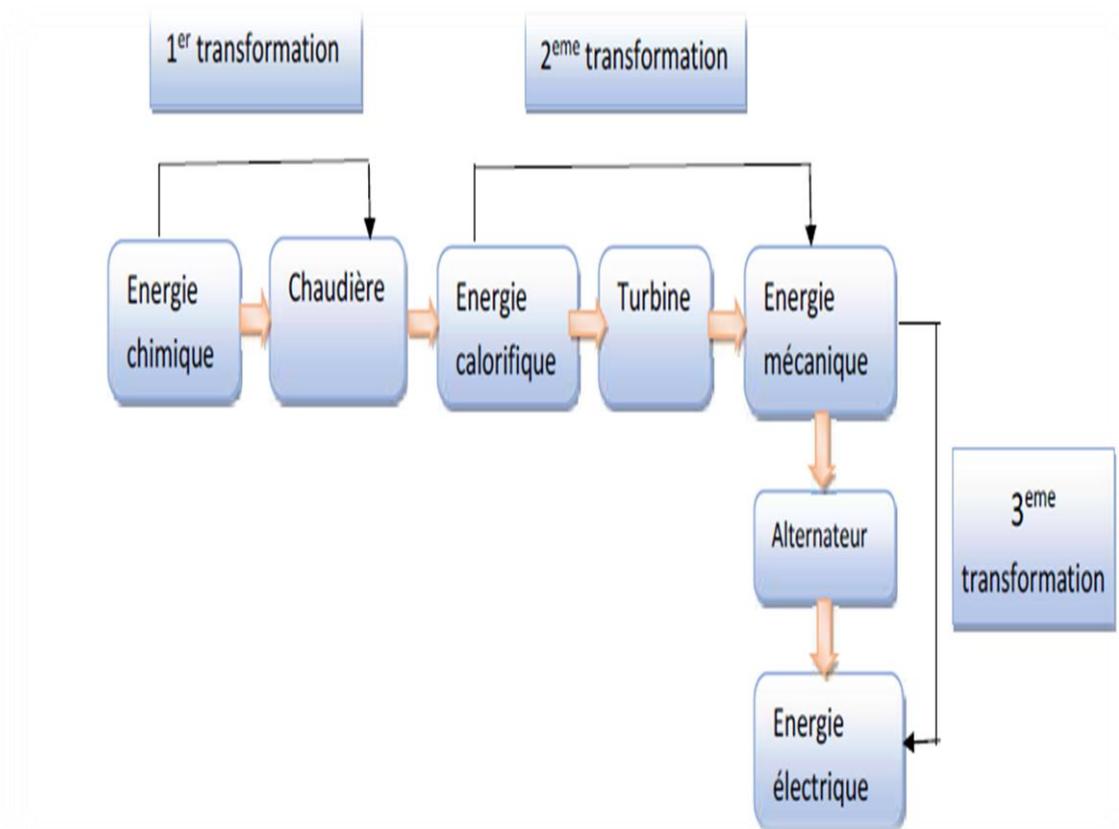


Figure I. 8 : principales transformations d'énergie.

➤ Première transformation

L'eau arrivant du condenseur et celle d'appoint ou après condensation se déverse dans la bêche alimentaire, elle est comprimée successivement par les pompes basse pression et haute pression, et est réchauffée par les réchauffeurs Basse et Haute Pression **BP** et **HP** au moyen de la vapeur de soutirage, elle passe enfin à l'économiseur où les gaz de combustion élèvent encore sa température. Avant son introduction dans la chaudière au début de la transformation, l'eau était à 33° et une pression absolue de 0.05 bar à la fin elle sera de 282° et 160 bar environ.

➤ Deuxième transformation

Elle s'effectue dans la chaudière, l'eau chaude comprimée arrive au réservoir supérieur, elle parcourt les parois tubulaires qui tapissent la chambre de combustion à travers ces tubes, les gaz de combustion qui ont une température de 1300° fournissent à l'eau d'abord un complément de chaleur de vaporisation.

À la partie supérieure de réservoir, où recueille de la vapeur saturée humide celle-ci est divisée par trois faisceaux tubulaires en série.

La vapeur se sèche dans le premier, La surchauffe s'effectue dans les faisceaux suivants. Pendant cette transformation, la pression ne change pas tandis que la température atteint son maximum à savoir 540°.

➤ **Troisième transformation :**

La vapeur surchauffée arrive à la partie Haute Pression **HP** où elle se détend jusqu'à 40 *baret* où elle se refroidit jusqu'à 357°, elle fournit donc un travail moteur puis elle retourne dans le foyer où elle circule dans les faisceaux de resurchauffe.

La pression ne varie pas mais la température atteint pour la deuxième fois son maximum soit 540°, la vapeur revient à la turbine pour se détendre et se refroidir dans le corps Moyenne Pression **MP** et Basse Pression **BP** en fournissant à nouveau un travail moteur.

Elle s'effectue dans le condenseur, la condensation de la vapeur sous vide à 0.05 *bar* à une température de 33° environ. L'eau recueillie est froide elle recommence le cycle.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la centrale à vapeur de Cap Djinet en générale, avec ses différentes stations qui est à son tour est transformé en énergie électrique grâce à l'alternateur suit un parcours partant par son passage.

Chapitre II

*Généralités sur les systèmes
hybrides (à cycle combinée)*

Introduction

L'objectif de notre travail est d'identifier les turbines à gaz et les turbines à vapeur ainsi que le cycle combiné. En termes de principe de fonctionnement et classification.

II.1. Turbine à gaz

II.1.1. Définition

La turbine à gaz (GT), également appelée turbine à combustion (TC) est un moteur à combustion interne de type rotatif qui fonctionne sur cycle Brayton et peut être utilisée comme partie intégrante de nombreux cycles innovants dans lesquels la production d'arbres, d'énergie électrique ou les gaz résiduels à température élevée peuvent être utilisés pour la production de vapeur. [3]

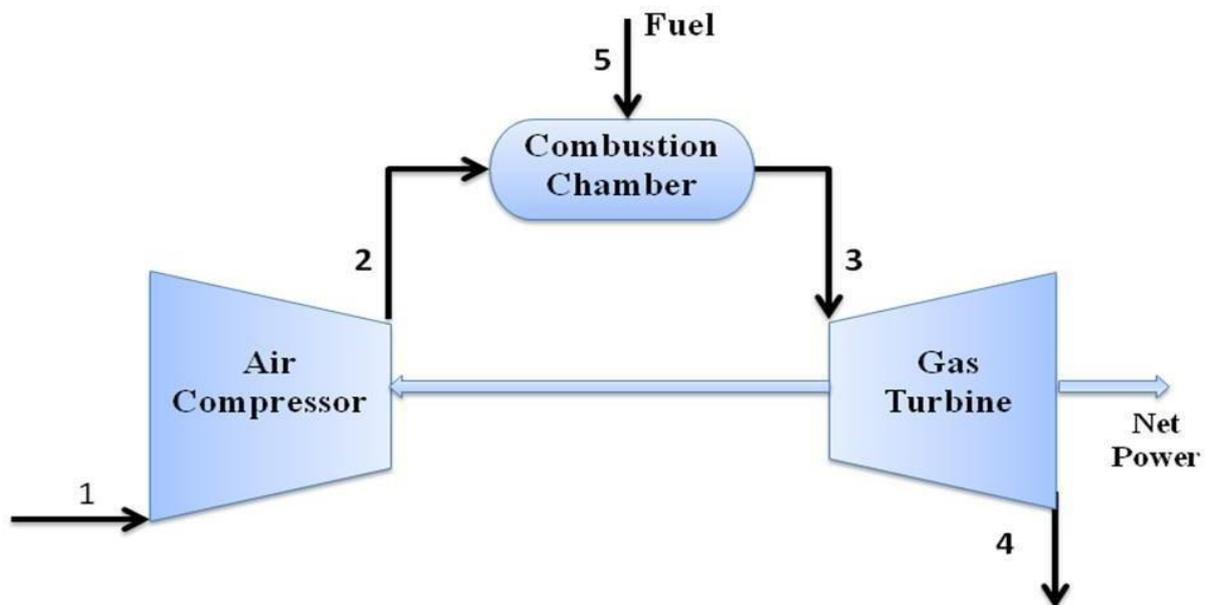


Figure II. 1 : schéma d'une turbine à gaz.

II.1.2. Fonctionnement de la turbine à gaz

Quand la turbine à gaz est mise en marche, l'air ambiant est aspiré à travers le système d'air d'admission où il est filtré et puis dirigé vers l'entrée du compresseur. L'air est comprimé par le compresseur et dirigé vers le système de combustion. À l'intérieur du système de combustion, l'air est mélangé au carburant (gaz naturel ou mazout ou les deux ou un autre carburant) et le mélange est allumé. Les gaz de combustion chauffés et comprimés circulent ensuite vers la turbine. Les gaz de combustible se dilatent au fur et à mesure qu'ils circulent à travers la turbine, induisant sa rotation. La turbine rotative actionne le compresseur et les

équipements accessoires avec un excès d'énergie disponible pour produire une puissance d'arbre qui actionne le générateur électrique. Les gaz sortant de la turbine s'échappent dans l'atmosphère et sont dirigés vers l'équipement de récupération de chaleur à travers un système d'échappement.

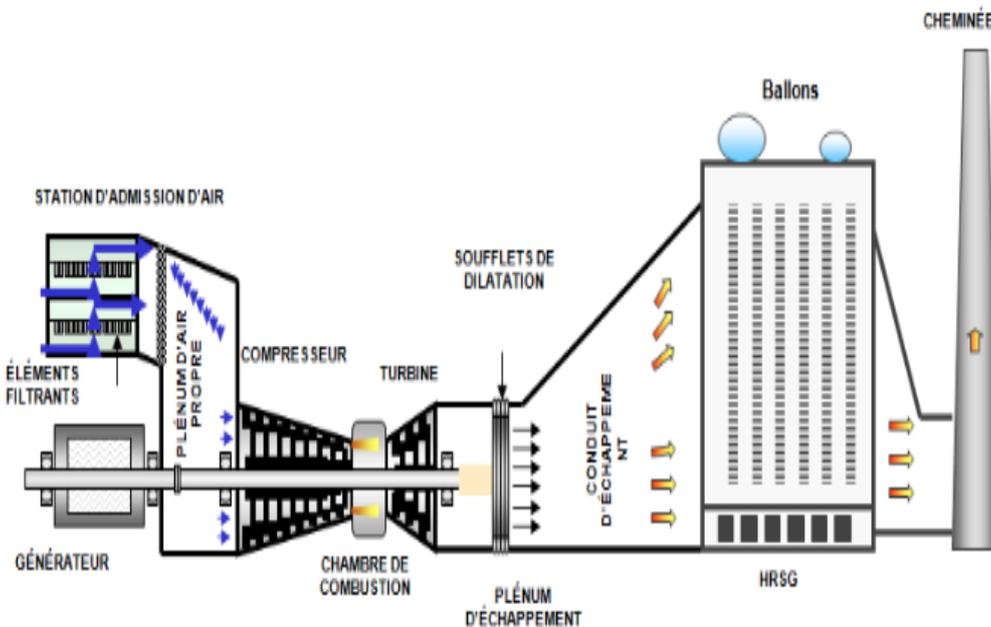


Figure II. 1 : Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné.

II.1.3. Les éléments d'une turbine à gaz

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à gaz est composée de trois éléments :

❖ Un compresseur

Centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ.

❖ Une chambre de combustion

Dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement.

❖ Une turbine

Généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

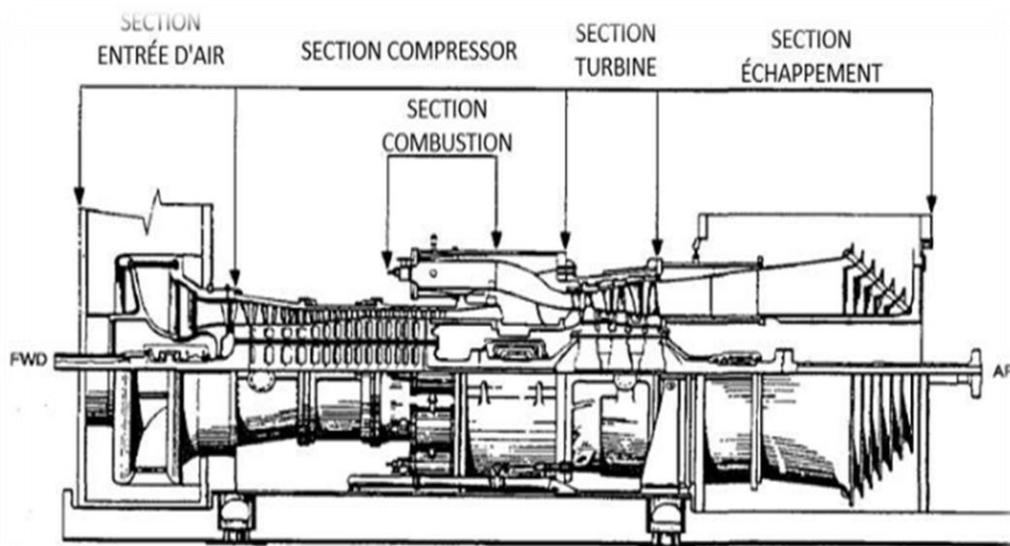


Figure II. 2 : Composants de la turbine à gaz.

II.1.4. Classification des turbines à gaz

On peut classer les turbines selon différents points :

- Par le mode de travail.
- Par le mode de fonctionnement thermodynamique.
- Par le mode de construction.

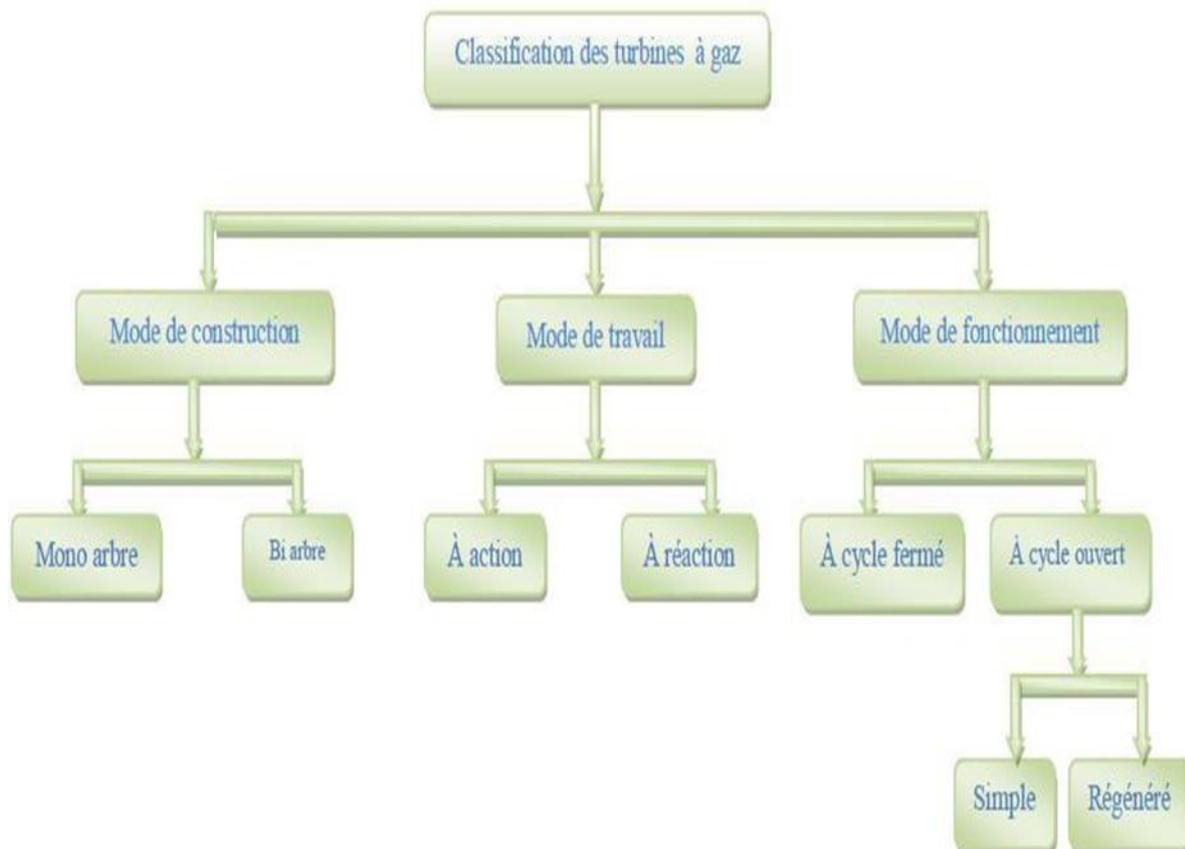


Figure II. 3 : Classification des turbines à gaz.

II.1.5. Historique [4]

La turbine a été inventée en 1791 par le Britannique John Barber. Sa supériorité technique et économique par rapport aux machines à vapeur à piston a été reconnue dès le 19^{ème} siècle. Toutefois l'insuffisance des connaissances sur les matériaux interdisait à l'époque de concrétiser les espoirs placés en elle. Il a en effet fallu attendre 1904 pour que Franz Stolze développe à Berlin une turbine à gaz. Capable de fonctionner, mais ne délivrant encore aucune puissance utile. La première turbine à gaz pratique utilisée pour produire de l'électricité fonctionna à Neuchâtel (suisse) en 1939 et fut développée par la société Brown Boveri.

II.1.6. Les types de turbine à gaz [5]

Une turbine à gaz peut comporter une ou deux lignes d'arbre pour l'ensemble des éléments tournants :

- Une ligne d'arbre

Le système est entraîné d'abord par un moteur jusqu'à une certaine vitesse, ensuite c'est la turbine HP qui continue l'entraînement de l'ensemble des éléments.

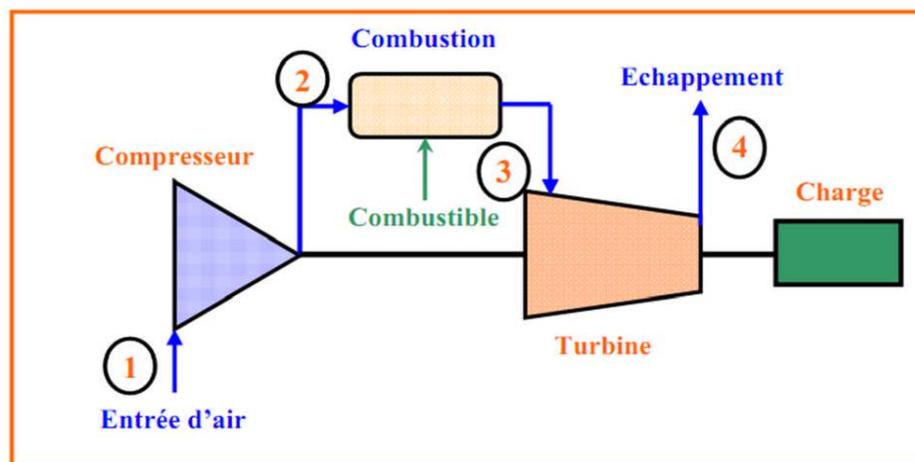


Figure II. 4 : Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.

- Deux lignes d'arbre

Comme pour une ligne d'arbre, il est rajouté une turbine BP en bout d'arbre séparé mécaniquement.

La conception à deux lignes d'arbres représente le maximum de souplesse et, est retenue pour les applications de grandes puissances.

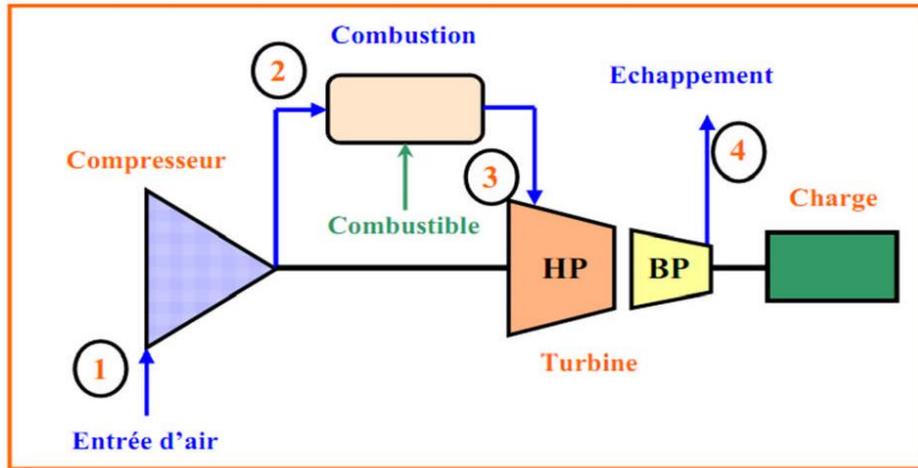


Figure II. 5 : Schéma d'une turbine à gaz à deux lignes d'arbres.

II.1.7. Les cycles thermodynamiques

a. Cycle de base (Cycle de Joule)

Fonctionnement des turbines à combustion est représenté par le cycle thermodynamique de Joule. L'air ambiant constitue le fluide qui va subir les transformations thermodynamiques. Il est aspiré puis comprimé dans un compresseur [(étape 1-2) figure (II.6)]. Les machines actuelles permettent d'atteindre des taux de compression de l'ordre de 20. En première approche, cette compression est assimilée à une transformation isentropique (adiabatique réversible). Puis, le combustible est injecté avec l'air comprimé dans les chambres de combustion. La combustion (isobare) permet au mélange d'atteindre une température de l'ordre de 1300°C [(étape 2-3) figure (II.6)]. Le mélange chaud ou gaz de combustion est ensuite détendu dans une turbine [(étape 3-4) figure (II.6)], suivant une transformation isentropique. Pour une machine fonctionnant en cycle ouvert, le refroidissement des fumées [(étape 4-1) figure (II.6)] n'existe pas. Elles sont rejetées en 4 et l'air frais est admis en 1.

Le cycle théorique est représenté sur le diagramme T-S (figure (II.6)).

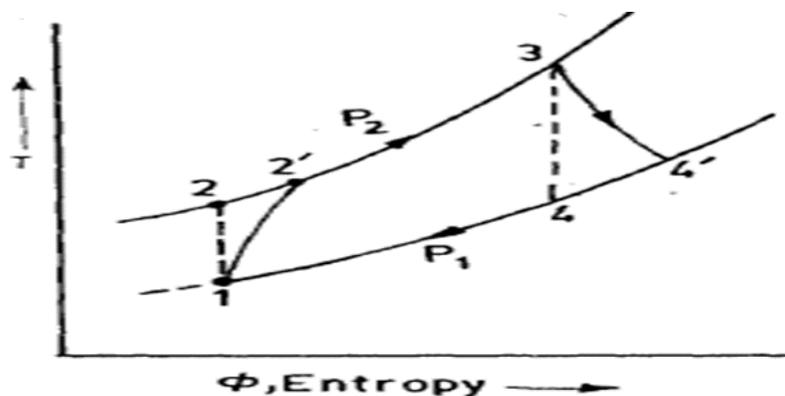


Figure II. 6 : Cycle de Joule (idéal et réel) sur un diagramme (T, S).[6]

b. Cycle de Joule avec récupérateur (régénération) [7]

Ce cycle est également appelé cycle de Brayton. Un échangeur régénérateur récupère une partie de l'énergie thermique contenue dans les fumées afin de réchauffer l'air avant son admission dans la chambre de combustion (figure (II.8)).

Cette disposition permet d'augmenter le rendement du cycle qui est ici du type « semi-ouvert ». La puissance produite par la turbine à combustion est inchangée.

L'allure du cycle de Brayton diffère peu du cycle de Joule.

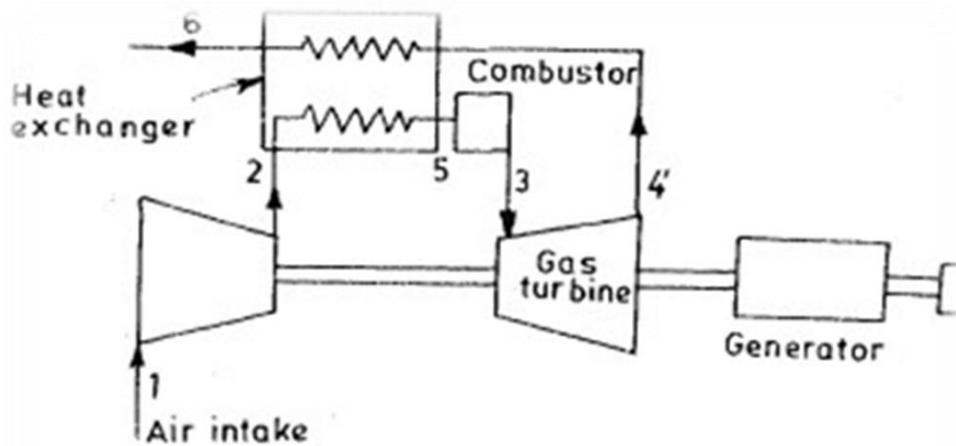


Figure II. 7 : Schéma d'un cycle de Brayton .

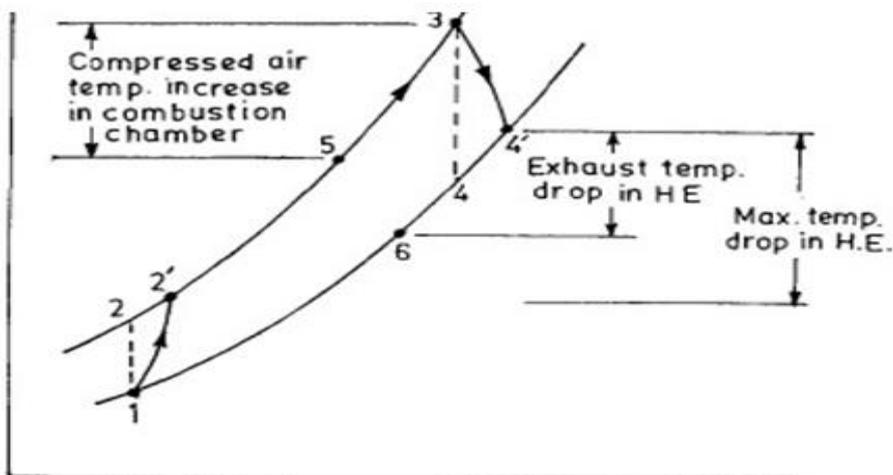


Figure II. 8 : Cycle de Brayton sur Diagramme (T, S).

c. Cycle de Joule avec « intercooler » [8]

La figure (II.9) présente le principe de fonctionnement du cycle de Joule avec « intercooler » (réfrigérant intermédiaire).

Dans le cycle de Joule avec « intercooler », la phase de compression est fractionnée en deux.

À l'issue de la première compression (étape 1-2) figure (II.10), l'air comprimé est refroidi [(étape 2-1') figure (II.10) dans un échangeur avant d'être réadmis dans les étages suivants du compresseur (étape 1'-2') figure (II.10)] avant son introduction dans la chambre de combustion.

L'intérêt de ce cycle réside dans un accroissement de la puissance produite par la turbine à combustion, alors que le rendement diminue légèrement. Par contre, une telle installation nécessite la présence d'une source froide.

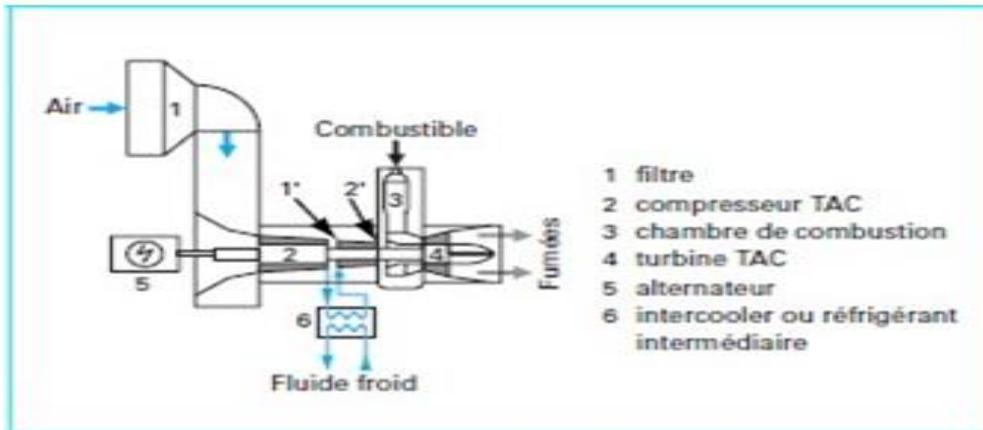


Figure II. 9 : Principe de fonctionnement du cycle «intercooler».

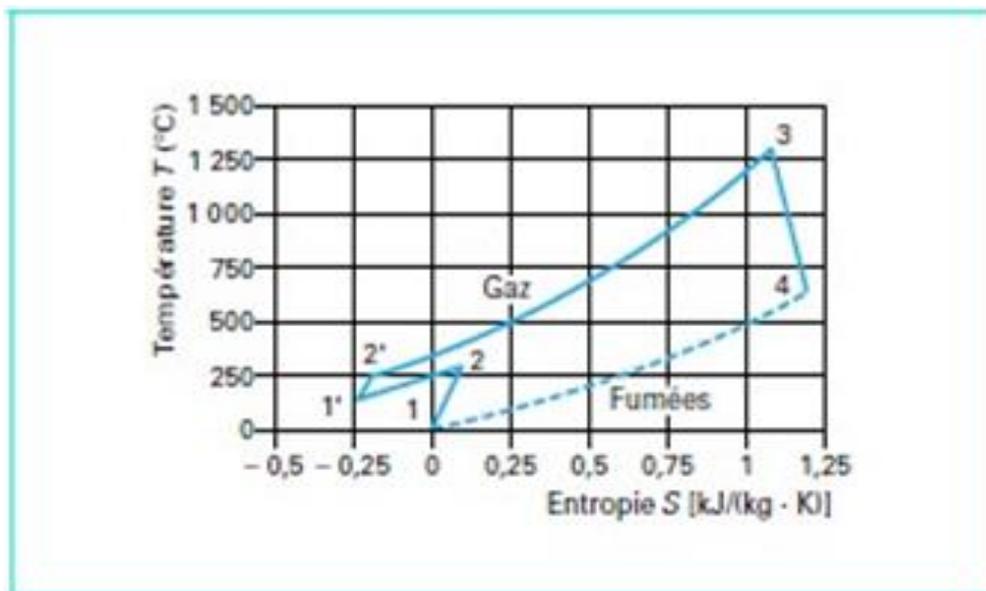


Figure II.10: Cycle de Joule «intercooler».

d. Cycle de Joule avec détente fractionnée [8]

Ce cycle fonctionne en fractionnant la détente des gaz dans la turbine à combustion.

Ce type d'installation nécessite deux systèmes de combustion placés en série à des pressions

différentes. La turbine à combustion est découpée en deux sous-ensembles de détente des gaz (figure (II.11)).

La représentation de ce cycle sur un diagramme T - S montre une première détente [(étape3-4) figure (II.12)] suivie d'une deuxième combustion [(étape4-5) figure (II.12)] et d'une deuxième détente des gaz [(étape5-6) figure (II.12)].

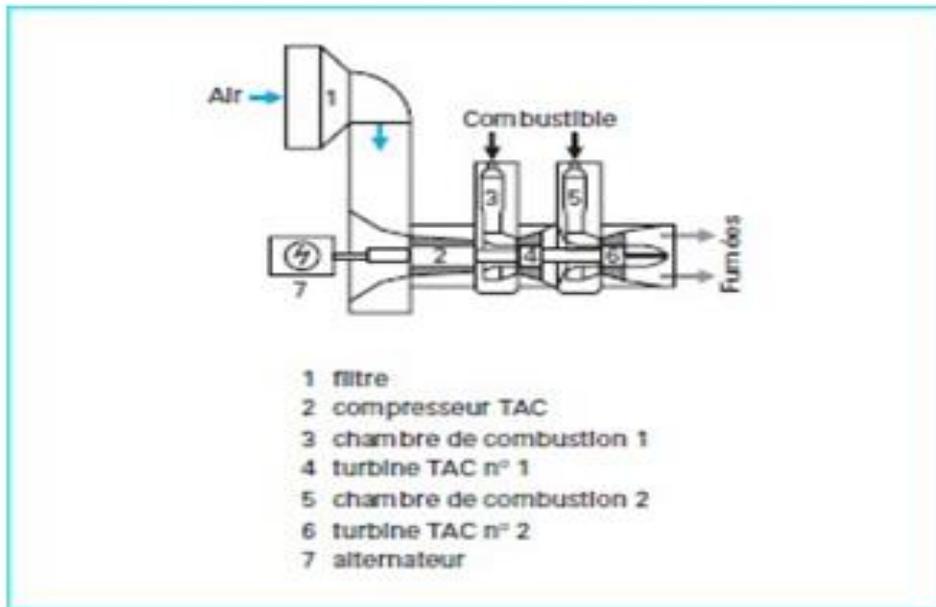


Figure II. 11 :Principe de fonctionnement du cycle de Joule avec détente fractionnée.[8]

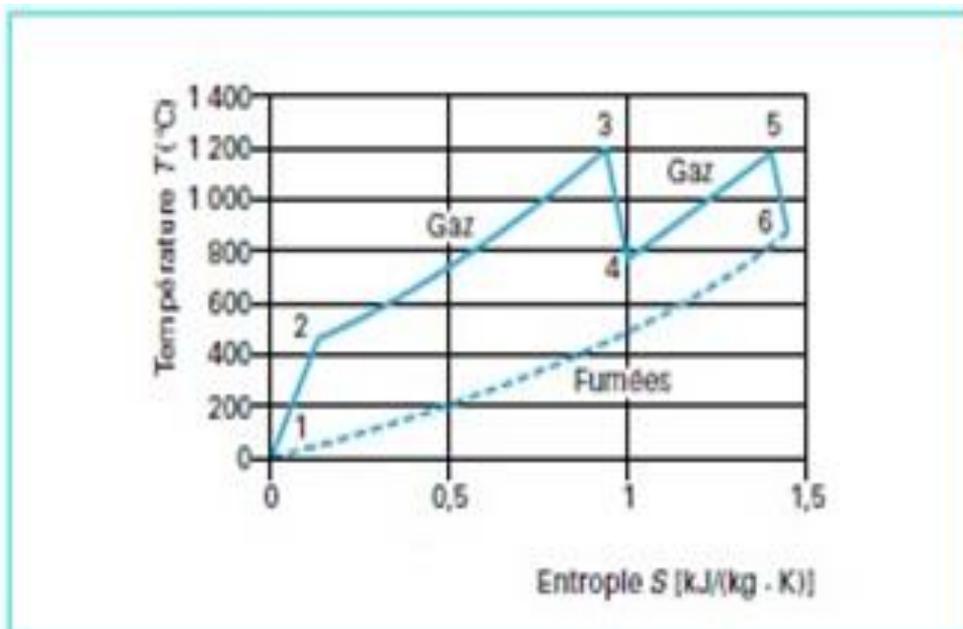


Figure II. 12 : Cycle de Joule avec détente fractionnée .[8]

II.2. Turbine à vapeur

II.2.1 Définition [9]

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000) ainsi que tous les accessoires nécessaires. La turbine à vapeur se compose d'un cylindre HP et d'un cylindre IP/LP à écoulement direct.

La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi à eau. La turbine HP est de construction à simple flux et à double paroi avec un porte-lame fixe et un carter externe. Elle est munie d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type cylindrique. Le carter extérieur IP/LP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement. Les demi-carter sont boulonnés ensemble par des boulons d'assemblage. Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble.

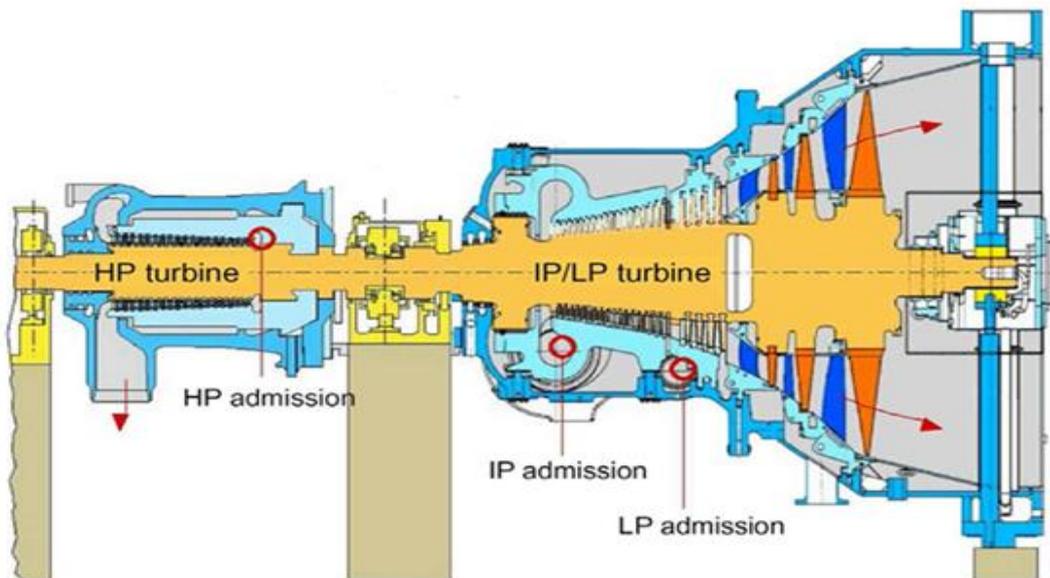


Figure II. 13 : Vue en coupe de la turbine vapeur.

II.2.2. Historique

La première turbine à vapeur a été inventée par le mathématicien grec Héro d'Alexandrie, elle était du type à mouvement alternatif. La turbine à vapeur moderne a été fabriquée par monsieur Charles Parsons en 1884. La conception a été modifiée à plusieurs reprises. La capacité de la turbine passe de 0,75 KW à 1000 MW. Il s'agit d'un large éventail

d'utilisations telles que pompes, compresseur, etc. Une turbine à vapeur moderne est également utilisée comme moteur dans un grand central thermique.

II.2.3. Principe de fonctionnement de la turbine à vapeur [10]

Le principe de fonctionnement de la turbine à vapeur exploitation du générateur à turbine à vapeur inclut la dilatation de la vapeur sous haute pression et à une température élevée à travers un nombre d'étages dans la turbine, se dilatant lors de son passage à travers les aubes stationnaires ou les aubes fixes montées sur les membranes stationnaires et engendrant les coups des aubes suivantes montées sur les disques du rotor à une vitesse élevée, les menant ainsi à tourner le rotor de la turbine et tourner le rotor du générateur. Le rotor du générateur est aimanté et la rotation du champ magnétique génère de l'énergie électrique dans le stator du générateur. Le rotor du générateur est aimanté et la rotation du champ magnétique génère l'énergie électrique dans le stator du générateur.

II.2.4. Classification des turbines à vapeur [11]

Les turbins vapeur peuvent être classés en différentes catégories en fonction de leur construction, du processus permettant d'obtenir la perte de chaleur, des conditions initiales et finales de la vapeur utilisée et de leur utilisation industrielle.

Cette classification comprend : [12]

- ❖ **Selon l'action de vapeur sur les aubes**
 - Turbine à impulsion
 - Turbine à réaction
 - Combinaison des deux

- ❖ **Selon le sens des murales de vapeur de sortie**
 - Turbine à flux axial
 - Turbine à flux radial

- ❖ **Selon le nombre d'étages**
 - Turbine mono-étagée
 - Turbine multi-étages

❖ Selon le nombre de cylindre

- Turbine monocylindre
- Turbine double-cylindre
- Turbine triple-cylindre

❖ Selon le type de composition

- Composition de pression
- Composition de vitesse

❖ Selon la pression de vapeur à l'entrée de la turbine

- Turbine sous basse pression
- Turbine sous pression moyenne
- Turbine sous haute pression
- Turbine sous pression super critique
- Turbine sous pression ultra-super critique

❖ Selon la méthode régulation

- Turbine à régulation d'étranglement
- Turbine à régulation de buse
- Turbine à régulation de dérivation

❖ Selon l'usage dans l'industrie

- Turbine stationnaire à vitesse constante
- Turbine stationnaire à vitesse variable
- Turbines non-stationnaires

II.2.5. Applications des turbines à vapeur [13]

Les turbines à vapeur font partie de diverses industries, de moyenne à grande échelle, et comprennent des dizaines d'applications institutionnelles.

➤ La Centrales électrique à cycle combiné

Les turbines à vapeur permettent aux centrales électriques de produire de l'électricité à l'aide d'une turbine à gaz et d'utiliser le gaz et la chaleur produits dans le cadre du processus pour générer de la vapeur qui, à son tour, produit de l'énergie supplémentaire.

Les centrales électriques à cycle combiné soutenues par des turbines à vapeur sont capables de produire ou d'accomplir des rendements de production électrique allant au-delà de la barre des 50% et sont utilisées dans de grandes applications industrielles.

Aux États-Unis, la majeure partie de l'électricité est produite à l'aide de turbines à vapeur. Offrant des rendements plus élevés, de faibles coûts et un impact positif sur l'environnement, les turbines à vapeur font désormais partie intégrante de plusieurs industries américaines.

II.6. Les cycles thermodynamiques

a. Cycle de Rankine [14]

Le cycle de Rankine est le cycle théorique le plus simple selon lequel la turbine (ou moteur) à vapeur fonctionne.

Le cycle de Rankine est le cycle de puissance à vapeur qui forme la base thermodynamique pour la plupart des centrales électriques à vapeur. Ces centrales peuvent utiliser du charbon, de l'huile, du gaz ou de l'énergie nucléaire comme carburant pour une source à haute température, mais l'exploitation thermodynamique de base reste équitablement la même.

Le schéma de principe d'un cycle organique de Rankine simple est donné par la figure ci-dessous. Il montre qu'une telle installation comprend quatre composants, traversés par le même débit de fluide :

- Une pompe.
- Un générateur de vapeur.
- Une machine de détente.
- Un condenseur.

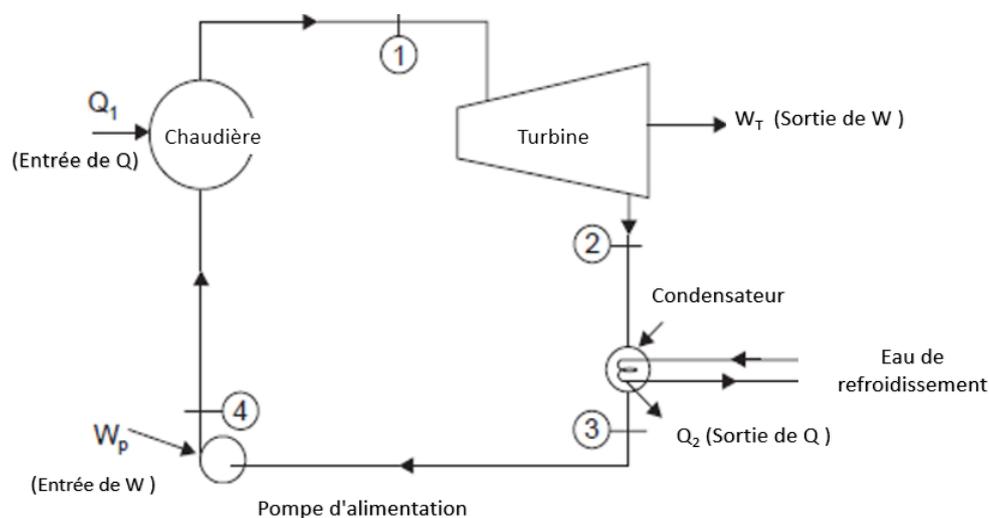


Figure II. 14 : schéma de principe d'un cycle de Rankine.

-Il y a quatre transformations dans le cycle de Rankine. Ces états sont identifiés par des numéros dans le diagramme T-S (figure II.15) présenté ci-dessous :

- **Transformations 1-2 :** Compression adiabatique et réversible (isentropique).
- **Transformations 2-3 :** Vaporisation isobare et irréversible.
- **Transformations 3-4 :** Détente adiabatique et réversible (isentropique).
- **Transformations 4-1 :** Liquéfaction isobare et irréversible.

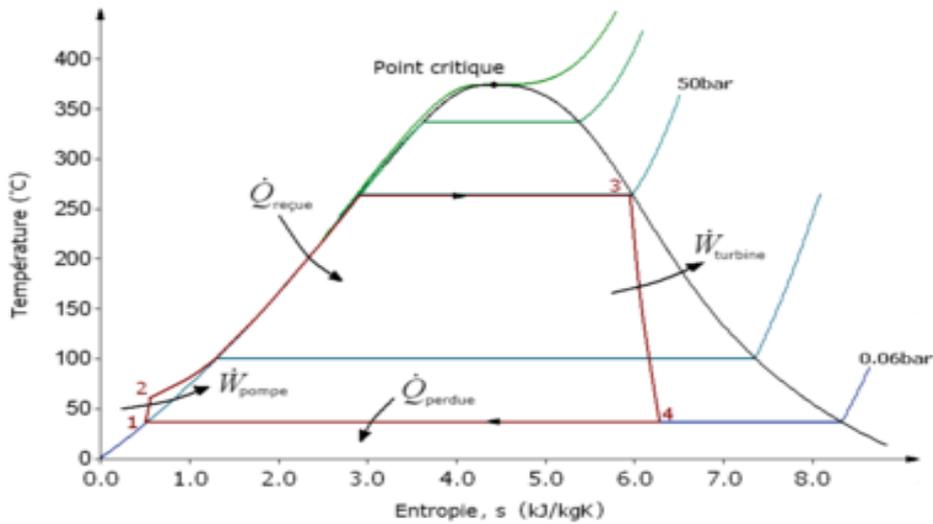


Figure II. 15 : Diagramme (T-S) pour cycle de Rankine

L'efficacité du cycle de Rankine : $\eta_{\text{Rankine}} = \text{Travail}_{\text{net}} / \text{Chaleur}_{\text{fournie}}$

Où : $\eta_{\text{Rankine}} = W_{\text{net}}/Q_1 = (W_T - W_P) / Q_1$

$W_T =$ Travail de turbine, $W_P =$ Travail de pompe et $Q_1 =$ Chaleur fournie

❖ Cycle de Rankine sur diagrammes p-v, T-S et h-s :

Dans la figure II.16, II.17, II.18, le cycle a été tracé sur les plans p-v, T-S et h-s respectivement :

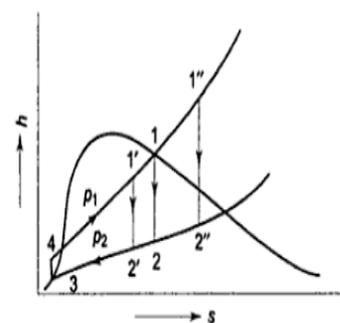
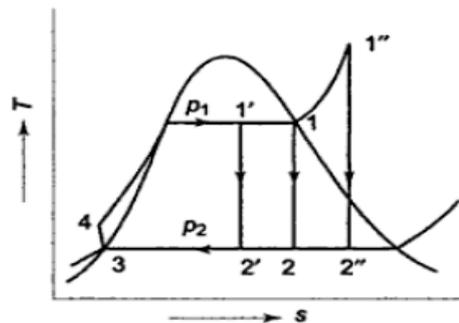
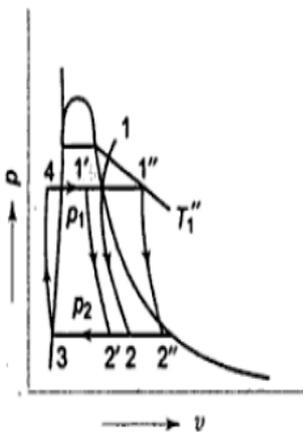


Figure II. 16 :Diagramme p-v. Figure II. 17 : Diagramme T-S . Figure II. 18 : Diagramme h-s.

b. Cycle de Hirn

Le cycle de Hirn se caractérise par une surchauffe en fin d'évaporation. Cette variante est le cycle qui se rapproche le plus du fonctionnement d'un cycle eau-vapeur d'une centrale thermique. En plus de fournir un gain d'efficacité, la surchauffe diminue l'humidité de la vapeur nuisible aux aubes de turbines.

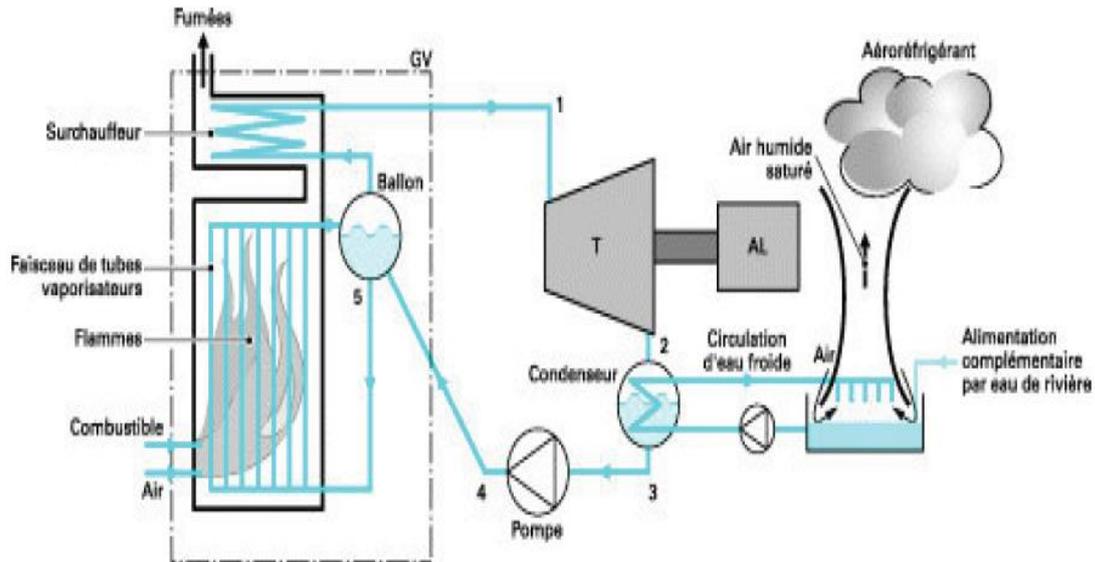


Figure II. 19 : L'installation motrice à vapeur fonctionnant sur la base d'un cycle de Hirn.

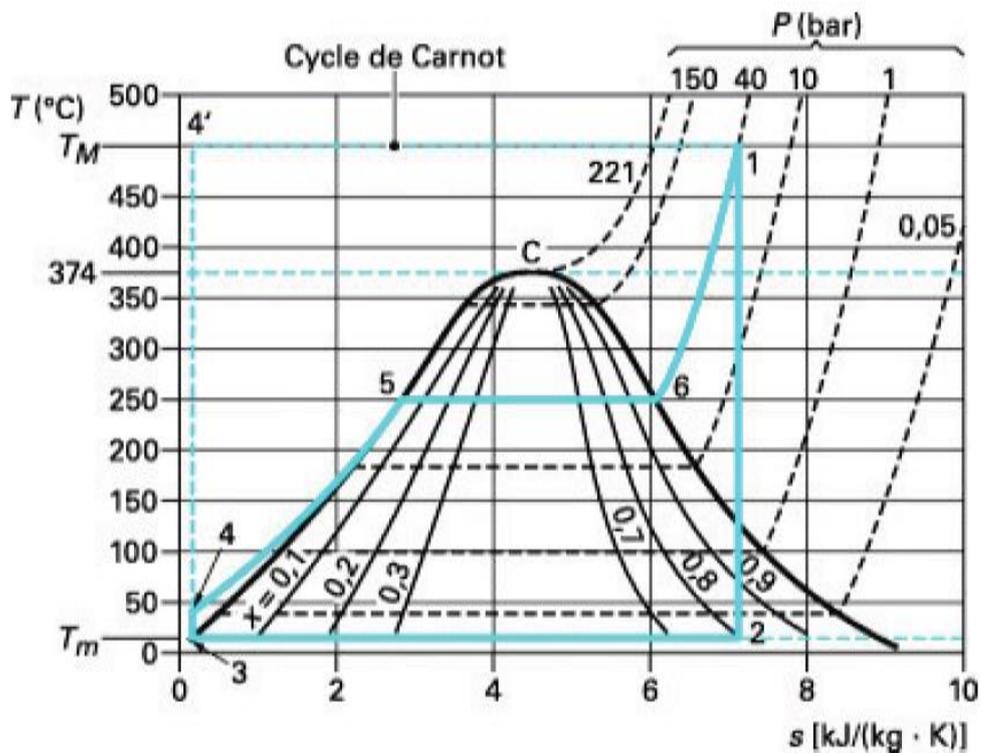


Figure II. 20 : Cycle de Hirn.

➤ Expressions du rendement théorique

Pour ce type de cycles, le rendement théorique η_{th} est calculé à partir des valeurs des Enthalpies massiques h de l'eau aux divers points caractéristiques du cycle.

Ainsi, on notera que :

$$\eta_{th} = \frac{W_{t12} - W_{t34}}{q_{41}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

1. Cycle de Hirn avec resurchauffe

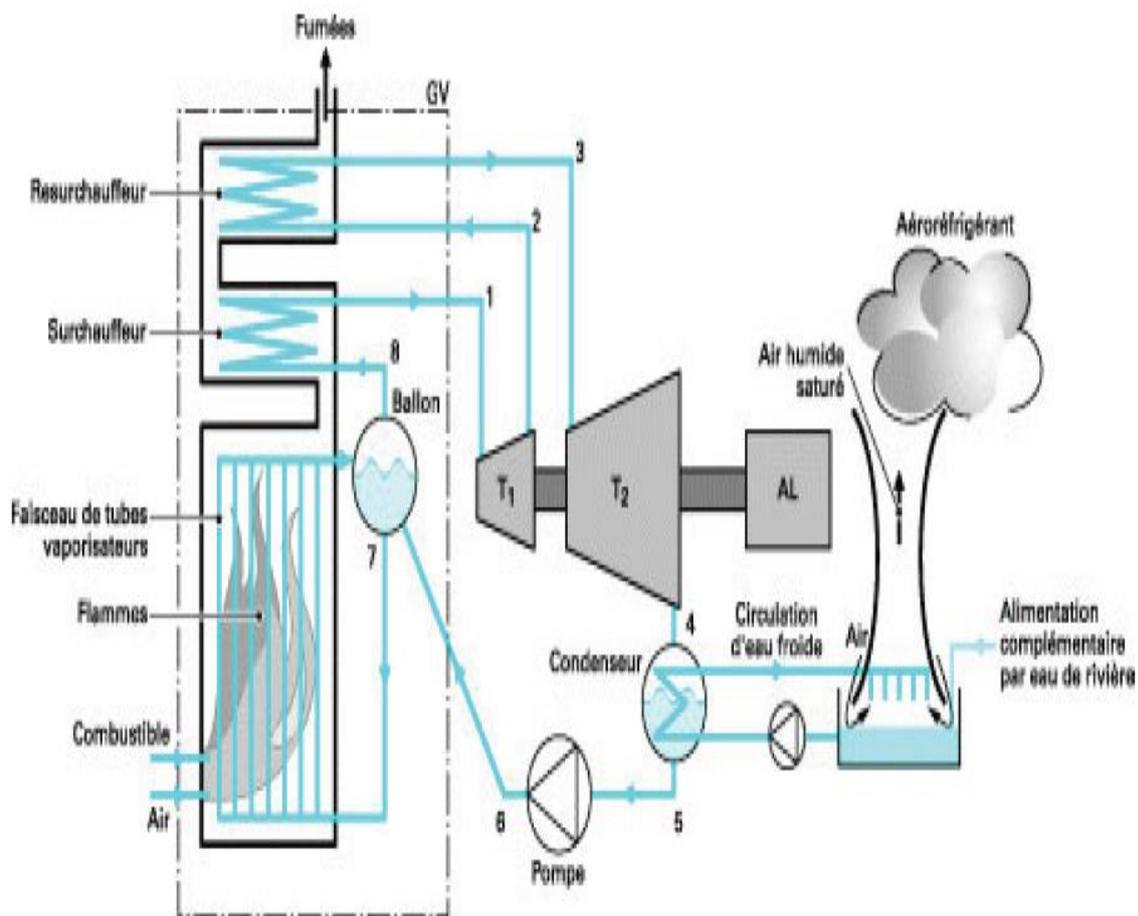


Figure II. 21 : Schéma d'une IMV fonctionnant sur la base d'un cycle de Hirn avec surchauffée

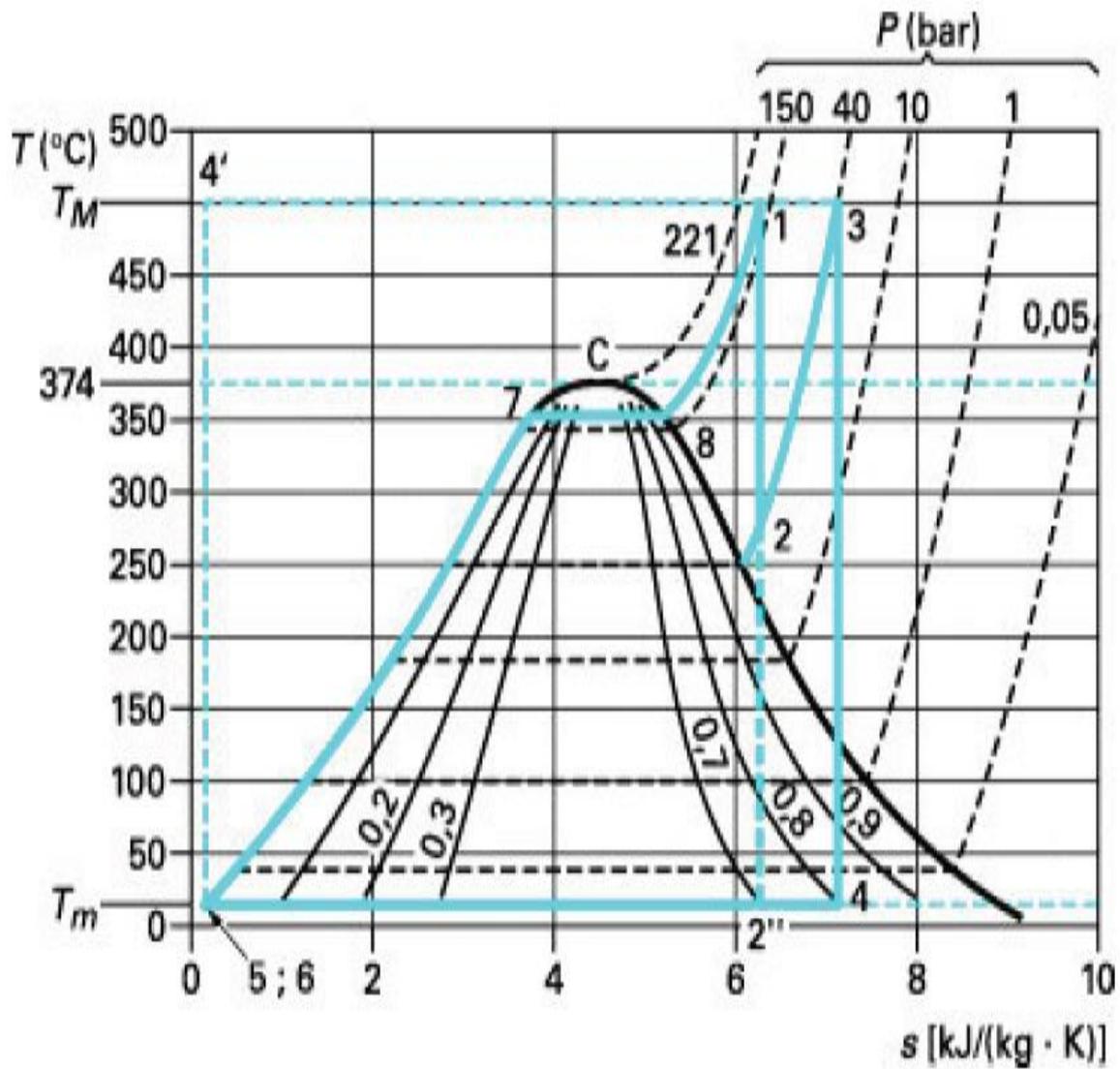


Figure II. 22 : Cycle de Hirn avec soutirages de vapeur.

Le rendement théorique du cycle de Hirn avec soutirages est donné par :

$$W_T = \dot{m} (h_1 - h_2) - \sum_{i=1}^n \dot{m}_i (h_{si} - h_2)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} (h_1 - h_2) - \sum_{i=1}^n \dot{m}_i (h_{si} - h_2)}{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i (h_{si} - h_2)}$$

En notant par \dot{m}_i les débits massiques dans chacun des soutirages (s_i), et par \dot{m} le débit qui traverse le générateur de vapeur.

2. Cycle supercritique

Pour améliorer le rendement des centrales électrogènes, on tend à utiliser des cycles supercritiques, c'est-à-dire des cycles dans lesquels le réchauffage de l'eau a lieu à une pression supérieure à la pression critique, soit supérieure à 221 bars. Il n'y a plus alors de palier de changement de phase liquide/vapeur, mais une évolution progressive du liquide vers le gaz, comme on peut le voir sur la **figure (II.23)**

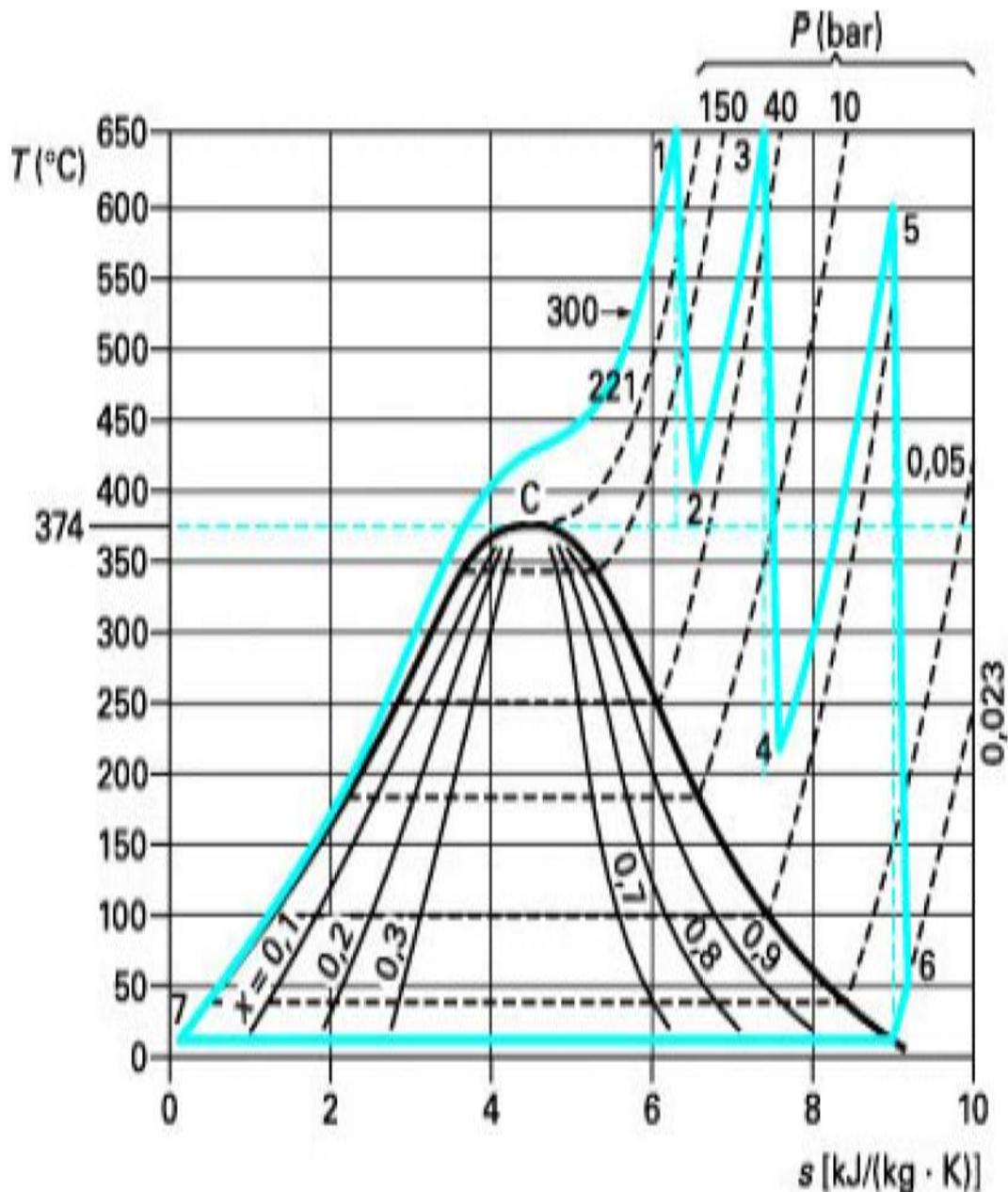


Figure II. 23 : cycle supercritique à deux resurchauffes.

II.2.7. Comparaison entre la turbine à gaz et la turbine à vapeur

Les TG diffèrent des TV par les caractéristiques suivantes :

Tableau II. 1 : Comparaison entre la TG et la TV.

	Turbine à vapeur	Turbine à gaz
Encombrement	Elle comporte une chaudière, un condenseur, turbopompe alimentaire et d'extraction, ainsi qu'un dégazeur.	Un seul compartiment.
Démarrage	Il nous faut au moins 1heure 30 minutes pour la démarrer. Sans tenir compte le temps de démarrage de la chaudière.	Démarrage rapide neuf minutes, démarrage normal 21 minutes.
T° C (max)	650°C	1500 °C
P bar (max)	127bars (9FAAlstom)	32 bar (GT24, GT26 ISO2314:1989)Alstom
ηth	40.2% à 41.6% Coal	38% à 45% gaz/oil

II.3. Cycle combiné

II.3.1. Introduction

Les centrales électriques à cycle combiné à sont la technologie de choix pour la production d'énergie à échelle d'utilité flexible.

En dehors de la grande efficacité par rapport aux centrales à vapeur traditionnelles, les centrales à cycle combiné offrent les avantages significatifs en termes d'impact environnement relativement faible, de niveau élevé de flexibilité opérationnelle et du temps plus court de mise en œuvre du projet.

II.3.2. Définition :

Un cycle combiné de puissance est la juxtaposition de deux ou plusieurs cycles thermodynamiques destinés à convertir plus efficacement l'énergie fournie en travail en adaptant deux ou plusieurs fluides de cycle. Avec le développement de la turbine à gaz, le terme

« cycle combiné » se réfère plus spécialement à un système composé d'une turbine à gaz, d'un récupérateur de chaleur générateur de vapeur, et d'une turbine à vapeur.

Le concept de cycle combiné a pour objectif d'augmenter le rendement global et la puissance utile d'une centrale thermique en investissant des équipements additionnels nécessités par le cycle à vapeur. Il est d'autant plus rentable que le coût de l'énergie est élevé.

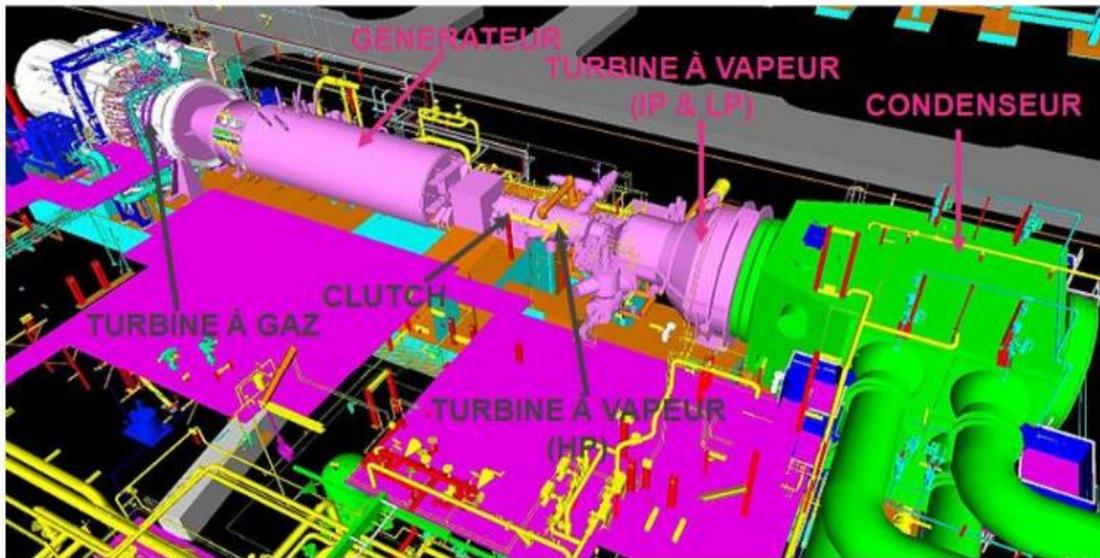


Figure II. 24 : Schéma d'un cycle combiné.

II.3.3. Historique du cycle combiné

Les cycles combinés avec récupération de la chaleur, qui emploient la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz, ont été rendus faisables par augmentation du transfert thermique latéral par l'utilisation des tubes aillés. Les chaudières à tubes aillés ont été mises en service en 1959. Depuis 1960, le type de récupérateur de chaleur du cycle combiné est devenu dominant. Son application initiale était dans des applications de puissance et de chaleur là où son rapport de puissance à la chaleur était favorable dans beaucoup de processus chimiques et pétrochimiques. Un nombre réduit de récupérateur de chaleur des cycles combiné ont été installés dans les centrales de production d'électricité dans les années 1960. Quand les turbines à gaz dont la capacité est plus de 50 MW ont été introduites dans les années 70 les expériences des récupérateurs de chaleur des cycles combinés ont rapidement augmenté dans les applications des compagnies d'électricité.

Les années 80 et le début des années 90 ont apporté un grand nombre de systèmes utilisant le gaz naturel comme combustible (installations de production de puissance et de production de puissance et chaleur (cogénération). Les installations de puissance seule utilisent l'extraction minimale de vapeur pour le chauffage d'eau d'alimentation. Les systèmes de

cogénération utilisent la vapeur d'échappement des turbines à vapeur dans d'autres processus. Quelques cycles combinés par cogénération exportent la vapeur directement du HRSG.

II.3.4. Principe de fonctionnement [15]

Le recours à la technologie des centrales à cycle combiné permet d'améliorer encore l'efficacité énergétique d'une centrale au gaz naturel.

Ce type de centrale utilise une ou plusieurs turbines à gaz, complétées d'une turbine à vapeur chacun entraînant une génératrice (dynamo ou alternateur) qui produit de l'électricité.

- Le gaz est injecté par les brûleurs dans la chambre de combustion, en même temps que de l'air ambiant, aspiré par le compresseur. Le mélange gazeux s'enflamme.
- Dans la chambre de combustion le volume de gaz de combustion augmente considérablement, et ceux-ci peuvent actionner les pales de la turbine à gaz.
- Les gaz de combustion quittent la turbine à gaz à une très haute température. Ils sont donc dirigés vers une chaudière de récupération, ou ils convertissent en vapeur d'eau qui circule dans les tubes.
- La turbine à gaz est actionnée par la pression des gaz brûlants.
- La turbine à vapeur est actionnée par la vapeur qui se détend progressivement. Cette vapeur est restituée après usage, soit directement à la source, soit dirigée vers une tour de refroidissement.
- Chaque turbine actionne un alternateur qui produit de l'électricité.

Le rendement énergétique de la centrale TGV se situe aux environs de 55%.

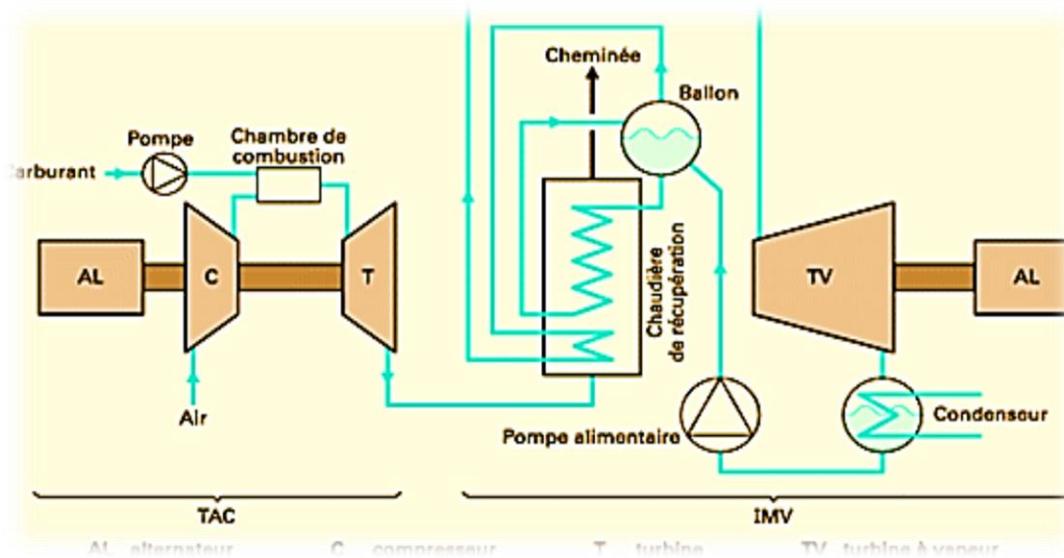


Figure II. 25 : Schéma d'une installation à cycles combinés gaz-vapeur.

II.3.5. Les types d'installation de cycle combiné

-Signal shaft

Les systèmes à cycle combiné comprennent des configurations mono-arbre et multi-arbre. Le système à arbre unique comprend une turbine à gaz, une turbine à vapeur, un générateur et un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG), la turbine à gaz et la turbine à vapeur étant couplées au générateur unique sur seul arbre.

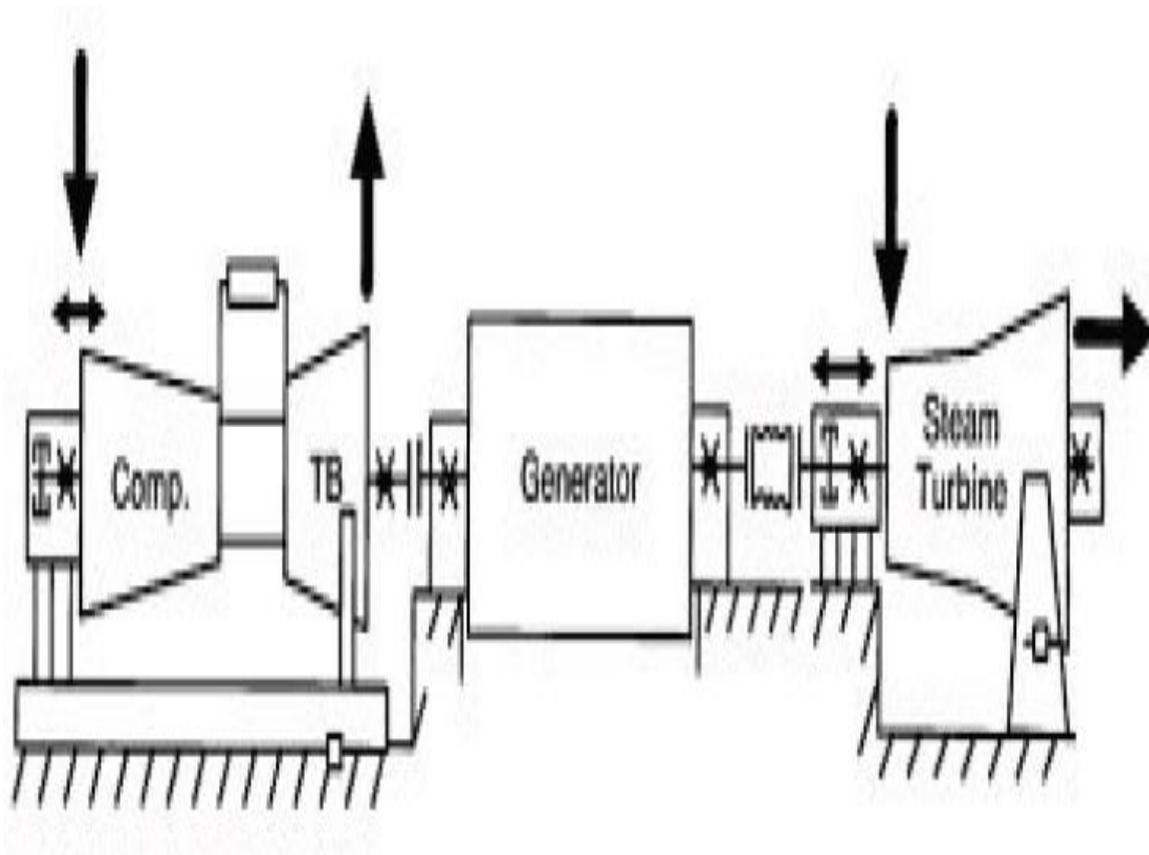


Figure II. 26 : Configuration d'une installation cycle combiné mono-arbre.

-Multi shaft

Les systèmes multi-arbre ont un plusieurs générateurs à turbine à gaz et (HRSG) qui fournissent de la vapeur via un collecteur commun à un seul générateur à turbine à vapeur. En termes d'investissement global, les couts d'un système multi-arbre sont environ 5% plus élevés.

II.3.6. Les éléments de base de cycle combiné :

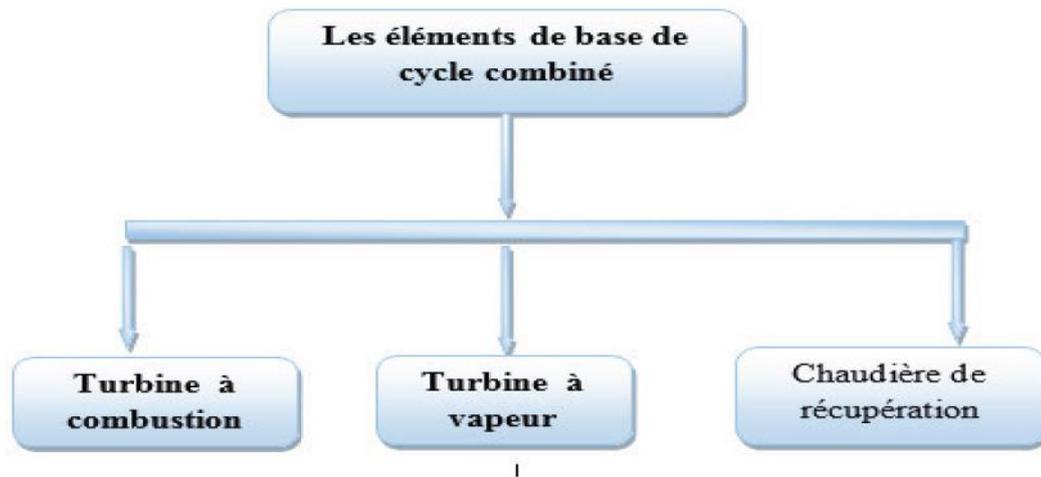


Figure II. 27 : Les éléments de base de cycle combiné.

II.3.7. Diagramme entropique d'un cycle combiné

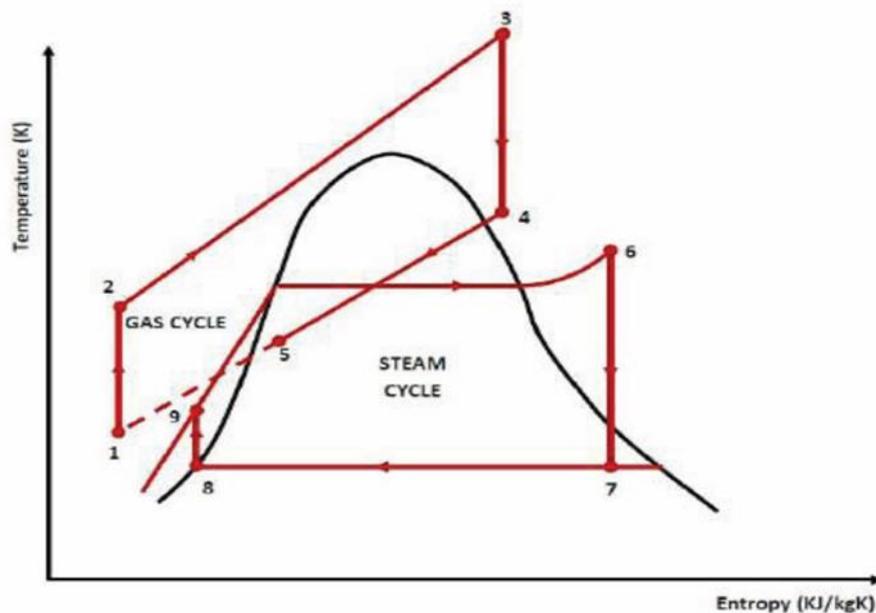


Figure II. 28 : Diagramme (T-S) d'un cycle combiné.

Le cycle thermodynamique du cycle combiné de base se compose de deux cycles de centrales électriques. L'un est le cycle Joule ou Brayton qui est un cycle de turbine à gaz et l'autre le cycle Rankine qui est un cycle de turbine à vapeur. Le cycle 1-2-3-4-1 qui est le cycle de la centrale électrique de turbine à gaz est le cycle de remplissage.

Il dépeint la chaleur et le processus de transfert de travail se déroulant dans une région à haute température. Le cycle 5-6-7-8-9-5 qui est le cycle de vapeur de Rankine a lieu à basse

température et est connu sous le nom de cycle de fond. Le transfert d'énergie thermique des gaz d'échappement à haute température à l'eau et à la vapeur se fait par une chaudière de récupération de chaleur usée dans le cycle de fond. Pendant le processus de pression constante 4-1, les gaz d'échappement dans la turbine à gaz rejettent la chaleur.

L'eau d'alimentation, la vapeur humide et la vapeur super chauffée absorbent une partie de cette chaleur dans le processus de 5 à 6.

II.3.8. Analyse énergétique du cycle combiné (gaz-vapeur)

- **Le travail effectué par le compresseur et la TAG s'écrit**

$$W_C = (h_2 - h_1)$$

$$W_{TG} = (h_3 - h_4)$$

- **Le travail effectué par la TAV est**

$$W_{TV} = (h_7 - h_6)$$

- **La chaleur du générateur de vapeur est**

$$Q_{GV} = (h_5 - h_8)$$

- **Le travail absorbé par la pompe est**

$$W_P = (h_6 - h_5)$$

- **Le travail total est**

$$W_{CYC} = W_{TG} - W_C + W_{TV} - W_P$$

- **À l'entrée de la chambre de combustion**

$$Q_{CC} = \dot{m}_f PCI$$

- **Alors le rendement thermique global de cycle est**

$$\eta_{th} = \frac{W_{cyc}}{Q_{cc}}$$

II.3.9. Caractéristiques d'un cycle combiné

Les systèmes à cycle combiné qui utilisent la vapeur et le gaz ont réalisé un succès commercial à très grande échelle en raison de :

- Rendement thermique élevé grâce à la combinaison des deux cycles thermodynamiques.
- Dissipation de la chaleur des fumées de la turbine à gaz, qui a été avantageusement utilisée en tant que source d'énergie pour produire de la vapeur.

Les fluides de travail qui sont facilement disponibles, peu coûteux et non toxique.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description détaillée sur les turbines à gaz et les turbines à vapeur ainsi que les modes de leur combinaison, nous avons aussi fait une comparaison thermodynamique entre les différents cycles (turbine à gaz, turbine à vapeur et cycle combiné).

Chapitre III

La production d'énergie électrique

Introduction

En Algérie, les programmes de construction des infrastructures, de l'urbanisation et de la relance des activités économiques dans les filières industrielles, ont engendré l'augmentation des besoins en matière de consommation des différentes sources d'énergies. Pour satisfaire cette demande en forte croissance, le gouvernement a lancé depuis l'indépendance un vaste programme d'investissement dans la production de l'électricité. Cette politique prévoyait l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel comme une priorité absolue pour l'amélioration de la qualité de vie du citoyen et de la situation économique du pays.

La charte nationale en 1976, annonça la volonté de généralisation de l'électrification des ménagers à travers tout le territoire national.

III.1. Evolution de production électrique par ordre d'installation

III.1.1. Centrale diesel

Les centrales électriques diesel (nommées également groupes électrogènes) sont équipées d'un moteur diesel et d'un alternateur. Opérant en autarcie en tant qu'unités de production d'électricité, elles constituent un choix idéal sur les sites de production éloignés ou pour assurer l'alimentation de secours de grandes banques, d'hôpitaux, d'aéroports ou de villes entières. Certains pays et états insulaires produisent la majorité de leur électricité avec des centrales électriques diesel. [16]

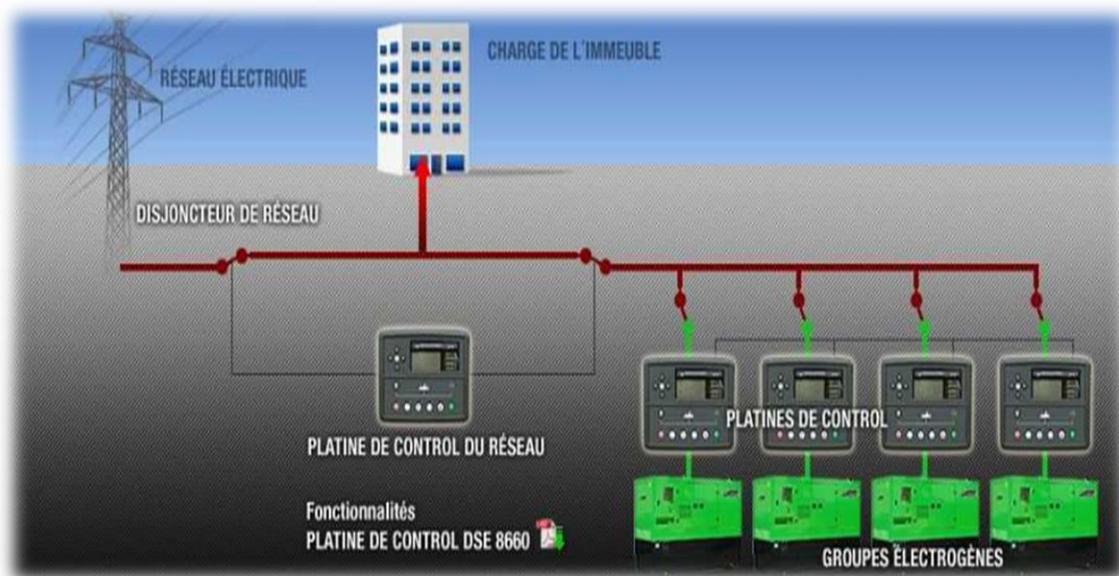


Figure III. 1 : Schéma d'une centrale Diesel

a. les avantages et inconvénients des centrales diesel

Tableau III. 1 : Avantages et inconvénients des centrales diesel

Avantage	Inconvénients
<p>Peuvent être construites près des centres de consommation.</p> <p>Coût de construction faible.</p> <p>Utiles dans les régions éloignées.</p> <p>Électricité disponible rapidement.</p>	<p>Pollution de l'air et de l'eau.</p> <p>Augmentent l'effet de serre.</p> <p>Coûts de production et d'entretien élevés.</p> <p>Risque de fuite de diesel lors de l'utilisation, et durant le transport.</p> <p>Énergie non renouvelable.</p> <p>Bruyances compromettent l'entente de Kyoto.</p>

III.1.2. Centrale Thermique à vapeur

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau.

Ce cycle comprend au moins les étapes suivantes :

- ✓ L'eau liquide est mise en pression par une pompe et envoyée vers la chaudière.
- ✓ L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.
- ✓ La vapeur est envoyée vers la turbine, où elle se détend en fournissant de l'énergie mécanique.
- ✓ La vapeur détendue est condensée au contact d'une source froide.

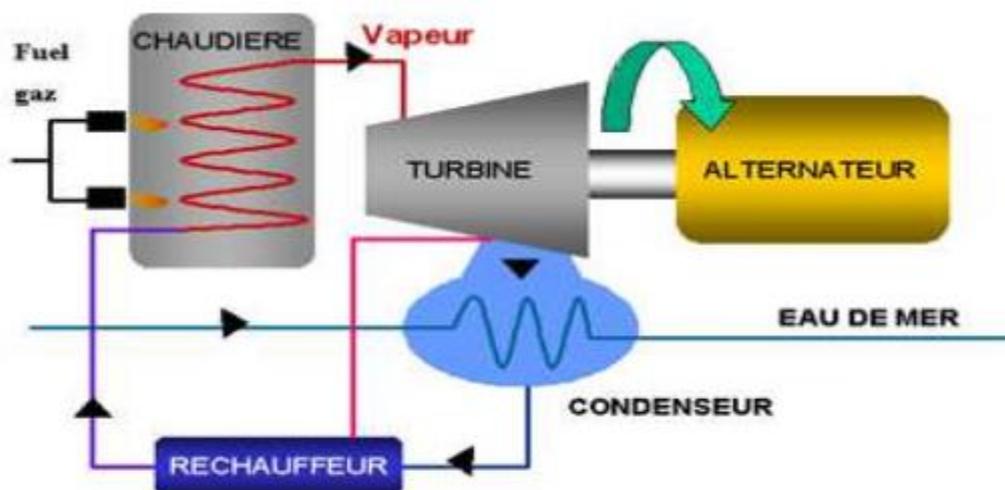


Figure III. 2 : Schéma d'une centrale thermique à vapeur.[17]

a. Avantages et inconvénients de la centrale vapeur

Tableau III. 2 : Avantages et Inconvénients des centrales Thermiques à vapeur.

Avantages	Inconvénients
Peuvent être construites près des centres de consommation. Coût de construction faible. Technologie simple. Temps de construction relativement court.	Energie primaire non-renouvelable. Pollution de l'air et de l'eau (effet de serre, précipitations acides). Risque de fuites. Risque d'accident durant le transport du combustible. Compromettent l'entente de Kyoto.

III.1.3. Centrale hydroélectrique [18]

C'est une unité de production d'électricité dans laquelle le flux crée par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge conduites forcées actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière.

C'est une forme d'énergie renouvelable, propre et non polluante. Il existe de petites centrales hydroélectriques qui transforment l'énergie sauvage d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique grâce à un générateur.

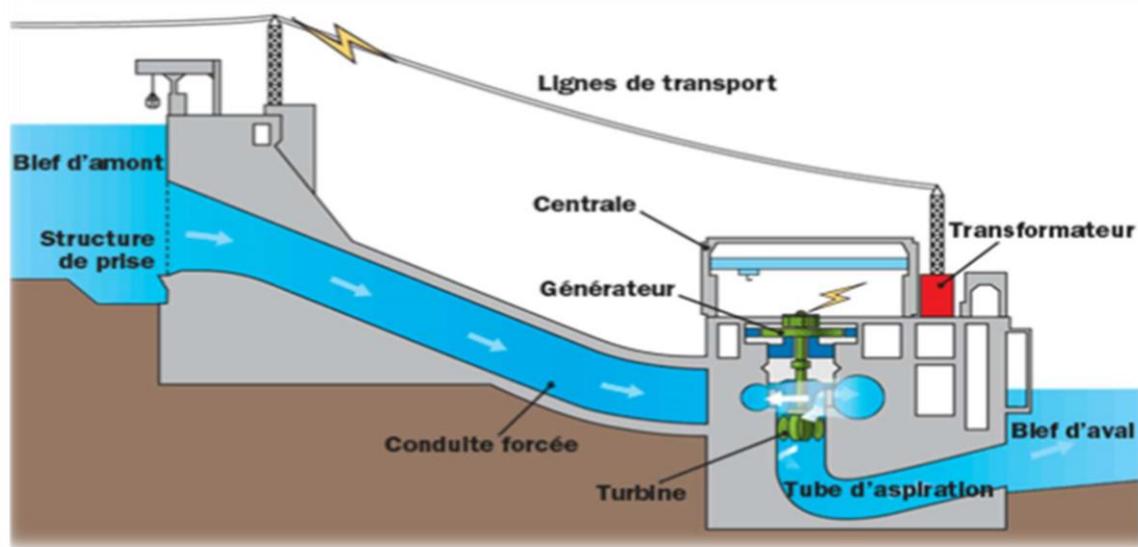


Figure III. 3 : Schéma d'une centrale hydroélectrique.

a. Centrales hydroélectriques en Algérie

Tableau III. 3 : Production électrique par des centrales hydroélectriques en Algérie.

Centrale	Puissance installée (MW)	Centrale	Puissance installée (MW)
Darguina	71.5	IGHZERNCHEBEL	2.712
IghilEmda	24	GHRIB	7.000
Mansouria	100	GOURIET	6.425
Erraguene	16	BOUHANIFIA	5.700
SoukEIDJEMAA	8.085	OUED FODDA	15.600
Tizi MEDEN	4.458	BENI BEHDE	3.500
TESSALA	4.228		

b. Avantages et inconvénients des centrales Hydroélectriques

Tableau III. 4 : Avantages et inconvénients des centrales Hydroélectriques.

Avantages	Inconvénients
Fiabilité. Durabilité. Énergie renouvelable. Coût de production moindre. Pas de pollution atmosphérique (effet de serre).	Coût de construction. Inondation du territoire. Pollution par le mercure. Construites à de grandes distances des lieux de consommation. Exigent un site avec dénivellation. Besoin de cours d'eau à fort débit.

III.1.4. Centrale Thermique à gaz (TG)

La combustion du gaz + air, fait tourner la turbine qui actionne l'alternateur.

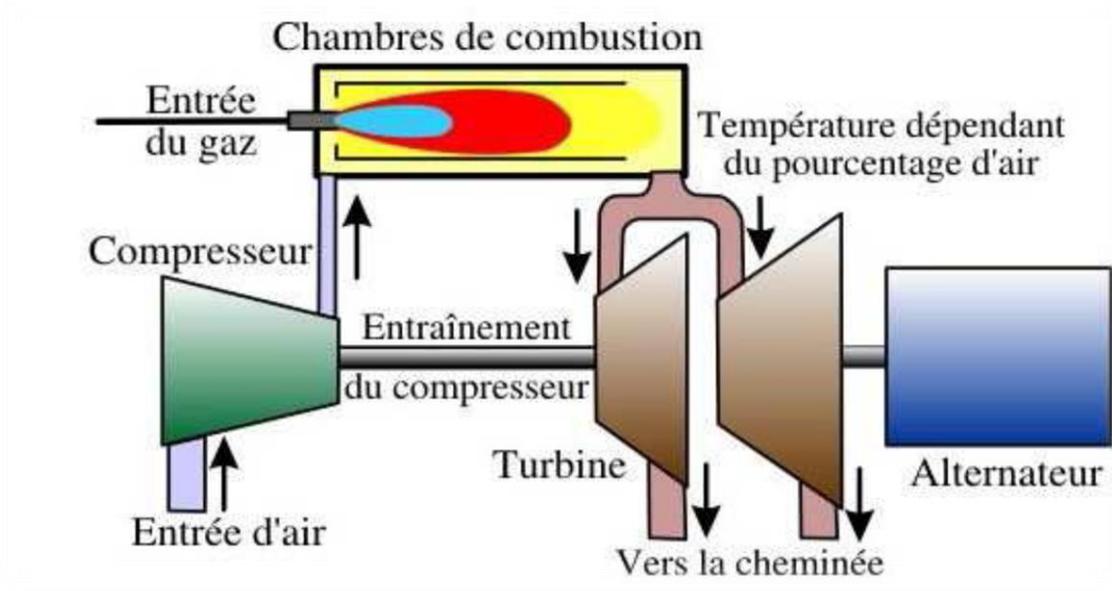


Figure III. 4 : Schéma d'une centrale à turbine de gaz .[19]

a. Transformations d'énergie

Energie chimique + air → Energie cinétique → Energie mécanique → Energie électrique.

b. Avantages et inconvénients des centrales thermiques à gaz

Tableau III. 5 : Avantages et Inconvénients de la centrale thermique à gaz.

Avantages	Inconvénients
Production en fonction des besoins. Peuvent être construites près des centres de consommation. Cout de construction faible. La technologie est éprouvée. Délais de construction courte	Pollution de l'air et de l'eau. Augmentent les gaz à effet de serre. Couts de production élevés. Risque de fuite du gaz lors de l'utilisation, et durant le transport. Energie non renouvelable. Compromettent l'entente de Kyoto.

III .1.5. Centrale à cycle combiné

Les centrales à cycle combiné utilisent le gaz naturel comme combustible dans un système de production d'électricité en deux étapes. Une première turbine et un premier alternateur sont mis en mouvement suite à la combustion du gaz naturel. La chaleur des gaz d'échappement de la première turbine est récupérée pour produire de la vapeur qui actionne une seconde turbine et un second alternateur.

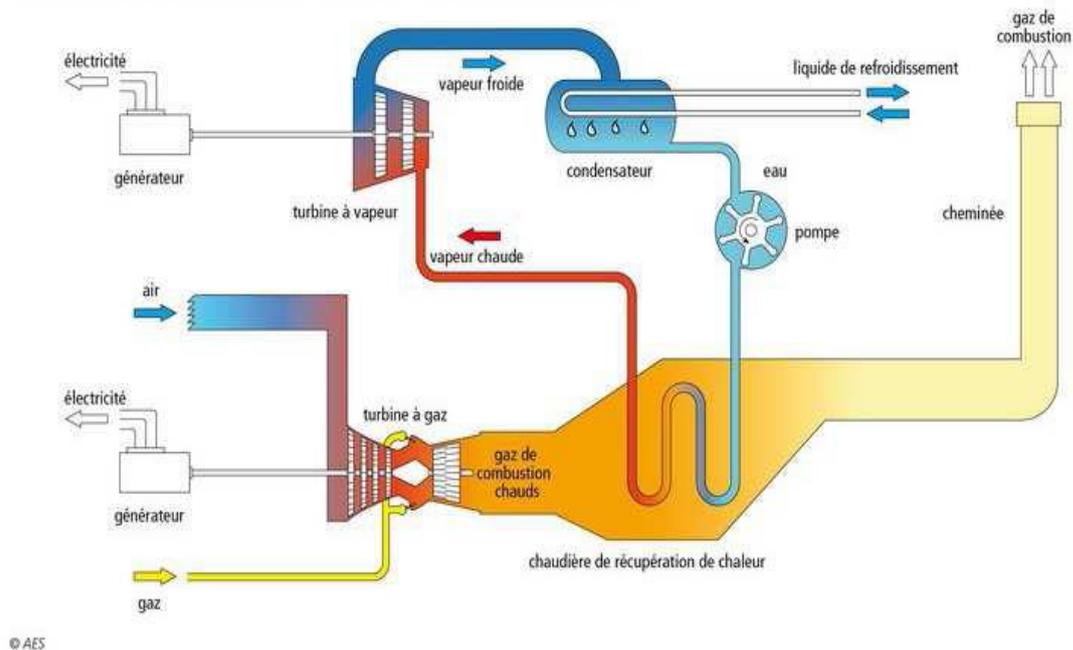


Figure III. 5 : Schéma d'une centrale à cycle combiné[20].

a. Production de l'électricité à partir des centrales thermiques à cycle Combiné

Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE), et des sociétés en partenariat, à Savoir :

- Kahrama Arzew mise en service fin 2005.
- ShariketKahraba Skikda « SKS » mise en service en 2006.
- Sharik et Kahraba Berrouaghia « SKB » (Médéa) mise en service en 2007.
- Sharik et Kahraba Hadjr et En nous « SKH » mise en service en 2009.
- Sharik et Kahraba Terga « SKT » mise en service en 2012.
- Sharik et Kahraba Koudi et Edraouch « SKD » mise en service en 2013.

Les 11 389 MW de capacité installée atteinte fin 2011, sont repartis comme suit :

Tableau III. 6: Evaluation de la puissance installée par producteur.

Producteurs	Production (MW)
Kahrama Arzew	345,3
SKS Skikda	825, 0
SKB Berrouaghia	489,0
SKH Hadjr et En nouss	1227,0
SKT Terga (SKT)	1200
Sharik et Kahraba Koudi et Edraouch (SKD)	1200

c. Avantages et inconvénients des centrales à cycle combiné

Tableau III. 7: Avantages et inconvénients des centrales à cycle combiné[21].

Avantages	Inconvénients
<p>Les centrales sont rapides à construire.</p> <p>Cette technologie offre une grande flexibilité d'utilisation qui permet de répondre rapidement et précisément à la demande. La thermique permet de construire des centrales de grande puissance.</p> <p>La production ne dépend pas de conditions extérieures autres que l'approvisionnement en combustible (l'énergie éolienne, par exemple, ne fonctionne pas sans vent).</p> <p>Cout de construction faible.</p>	<p>Cette technologie engendre des émissions de produits polluants et des gaz à effet de serre.</p> <p>Les couts de compensation des émissions polluants sont élevés.</p> <p>La thermique utilise souvent des sources fossiles (charbon, fioul, gaz) dont les réserves sont physiquement limitées par la géologie terrestre et non-renouvelables à court et moyen terme.</p> <p>Energie non renouvelable.</p> <p>Compromet l'entente de Kyoto.</p>

III .1 .6. Centrale Hybride

Le système hybride présente un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement, grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et une sécurité d'approvisionnement, quelles que soient les conditions météorologiques. Il existe deux types de système de production hybride, système alterne et système parallèle.

a. Avantages et inconvénients de la centrale hybride

Tableau III. 8: Avantages et Inconvénients des centrales hybrides.

Avantages	Inconvénients
<p>Diminution de la consommation de carburant et des contraintes.</p> <p>D'approvisionnement Indépendance énergétique et visibilité à long terme du cout de l'énergie.</p> <p>Durée de vie des groupes électrogènes allongée, maintenance allégée.</p> <p>Réduction des nuisances sonores et de la pollution de l'air du site.</p>	<p>Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système.</p> <p>Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.</p> <p>Le personnel, qui s'occupe du fonctionnement correct du système, doit être qualifié.</p> <p>Les batteries vieillissent rapidement (pas de chargeur).</p>

III .1 .7. Centrale Eolienne

Le vent fait tourner les pales de l'éolienne qui agissent comme turbine et actionne l'alternateur.

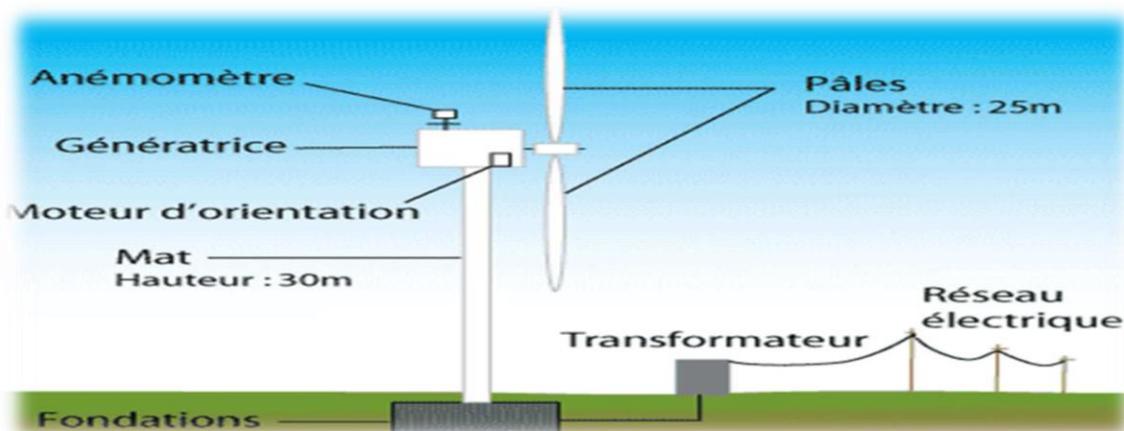


Figure III. 6 : Schéma d'une Centrale éolienne

a. Avantages et inconvénients des centrales éoliennes

Tableau III. 9: Avantages et Inconvénients des centrales éoliennes.

Avantages	Inconvénients
<p>Source d'énergie renouvelable.</p> <p>Aucune pollution de l'air et de l'eau.</p> <p>Cout de production faible.</p>	<p>Elles exigent des sites venteux.</p> <p>Impossibilité d'emmagasinier le vent.</p> <p>Très bruyantes.</p> <p>Dangereuses pour les oiseaux.</p> <p>Le rendement est variable selon l'intensité du vent.</p> <p>Technologie à améliorer, afin d'obtenir un rendement supérieur.</p>

III.1.8. Centrale Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.

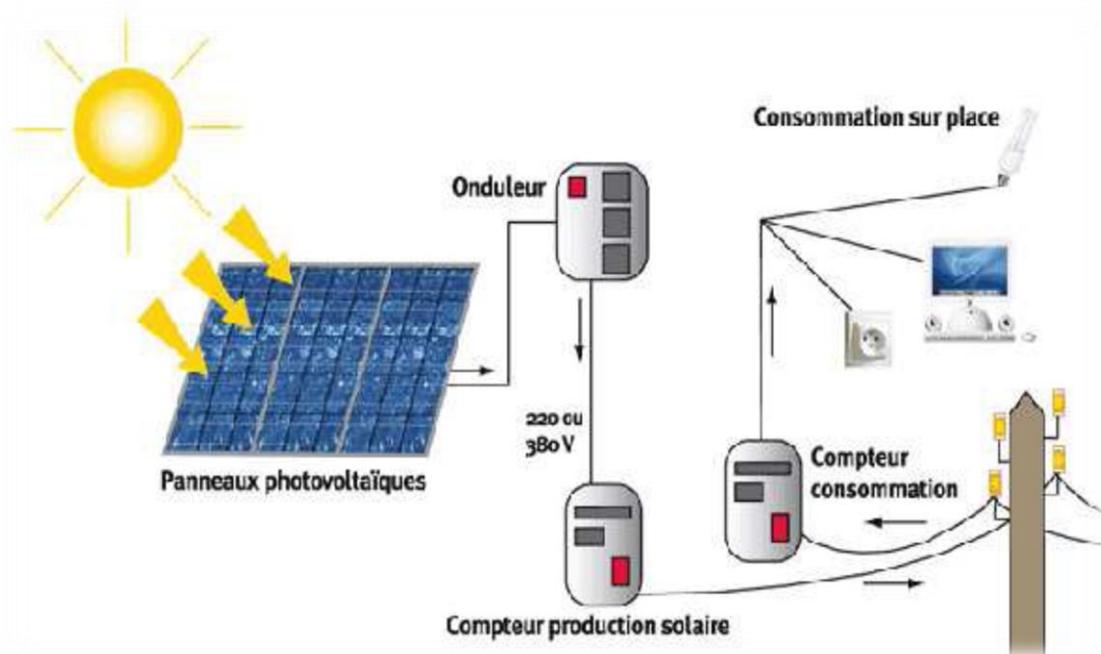


Figure III. 7 : Schéma d'une centrale photovoltaïque.[22]

a. Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Tableau III. 10: Avantages et Inconvénients de centrale photovoltaïque.[23]

Avantages	Inconvénients
<p>Elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rende particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.</p> <p>Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.</p> <p>Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.</p> <p>Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.</p> <p>La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux.</p>	<p>La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.</p> <p>Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).</p> <p>Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.</p>

III .1 .9. Centrale géothermique

La géothermie consiste à capter la chaleur contenue dans la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité. Nous caractérisons 3 types d'énergie :

1. La géothermie à haute énergie.
2. La géothermie à basse énergie.
3. La géothermie à très basse énergie.



Figure III. 8 : Energie géothermique

a. Avantages et Inconvénients de l'énergie géothermique

Tableau III. 11: Avantages et Inconvénients de centrale géothermique. [24]

Avantages	Inconvénients
<p>L'énergie géothermique est relativement respectueuse de l'environnement.</p> <p>L'énergie géothermique est fiable, car elle fournit une puissance constante.</p> <p>L'utilisation de combustibles conventionnels polluants tels que le pétrole et le charbon peuvent être réduits si l'on utilise la géothermie et d'autres formes d'énergie alternative.</p> <p>L'énergie géothermique peut prendre différentes formes.</p>	<p>Les gaz à effet de serre sous la surface de la terre peuvent potentiellement migrer vers la surface et dans l'atmosphère.</p> <p>La construction de centrales géothermiques peut affecter la stabilité du terrain.</p> <p>Les coûts totaux se situent habituellement entre 2 et 7 millions de dollars pour une centrale géothermique de 1 MW.</p> <p>Les bons réservoirs géothermiques sont difficiles à trouver.</p> <p>Les pompes à chaleur géothermiques ont besoin d'une source d'énergie.</p> <p>l'énergie géothermique est transportée sur de longues distances, les coûts peuvent devenir prohibitifs.</p>

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons illustré les différentes sources d'énergie pour la production de l'énergie électrique, de même nous avons cité les avantages ainsi que les inconvénients de chaque méthode.

Chapitre IV

*Etude énergétique de la
nouvelle centrale à cycle
combiné*

Introduction

La centrale thermique est une source importante d'énergie électrique qui fonctionne suivant un cycle thermodynamique, dont le rendement dépend particulièrement des températures de la source chaude et la source froide.

La nouvelle centrale thermique de Cap-Djinet est une centrale conventionnelle dans laquelle un combustible fossile est brûlé dans une chaudière pour produire de la vapeur d'eau qui ensuite produite de l'énergie électrique qui subira plusieurs transformations assurées par différentes machines (compresseur, turbine à gaz, turbine à vapeur, pompes, alternateur)

Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'étude énergétique de cette nouvelle installation Cap Djinet.

VI.1. Description de la nouvelle centrale

Ce chapitre couvre la « Description générale, les principaux composants et leurs dispositions, les paramètres de fonctionnement de la centrale à cycle combiné CAP-DJINET DE de 1131,1 MW ».

Le compresseur des turbines à gaz aspire l'air ambiant à travers un filtre à air d'admission, le comprime et l'alimente au système de combustion. Le gaz combustible est introduit dans le système de combustion et brûlé avec de l'air comprimé. Le gaz de combustion comprimé chaud qui en résulte s'écoule dans la turbine, le gaz se dilate et entraîne la turbine à gaz. La puissance mécanique générée dans la turbine entraîne l'alternateur et le compresseur. La sortie du générateur est connectée par un transformateur élévateur de générateur et des barres omnibus au réseau.

Le gaz combustible est chauffé dans un réchauffeur de bain-marie au moyen d'un contrôleur de température local pour maintenir au-dessus de la température du point de rosée. Il est finalement préchauffé par le réchauffeur d'efficacité GT par l'alimentation en eau fournie par l'économiseur HRSG MP. L'eau d'alimentation quittant le préchauffeur de gaz combustible est mélangée avec le flux de condensat avant d'entrer dans le préchauffeur de condensat.

Ce gaz de combustion qui sort de la turbine à gaz est à haute température et transporte beaucoup d'énergie thermique. Cette dernière d'échappement GT est utilisée pour produire de la vapeur dans un HRSG horizontal à triple pression.

La vapeur générée est alimentée à différentes étapes de la turbine à vapeur (HP / MP / BP).

La vapeur d'échappement de turbine BP, la vapeur d'étanchéité, les drains de turbine et / ou la vapeur de dérivation HP/BP sont condensés dans un condenseur à surface de vapeur. L'eau d'appoint DM est également apportée dans la cheminée du condenseur. Le condensat de la cheminée est évacué par des pompes d'extraction de condensat vers le système de préchauffage des condensats (économiseur BP) et vers plusieurs consommables STG via les échangeurs et refroidisseurs de l'éjecteur d'air à vapeur (SJAÉ) et du condensateur de vapeur du presse-étoupes (GSC). Le dégazeur est intégré au ballon de vapeur à basse pression (BP).

Les pompes d'alimentation HRSG doivent aspirer depuis le ballon de vapeur BP et fournir l'eau d'alimentation au circuit haute pression (HP) et, par une purge intermédiaire, au circuit de pression intermédiaire (MP).

La vapeur du tambour à vapeur HP circule à travers la surchauffeur et va vers la turbine à vapeur HP (ST). La vapeur prélevée de la décharge HP ST retourne au HRSG, où elle est mélangée avec la vapeur surchauffée MP puis, en passant par le réchauffeur (RH), retournera à l'MP ST.

Enfin, la vapeur prélevée de la décharge MP ST va directement à BP ST ; La vapeur de BP SH provenant du HRSG est admise dans la décharge MP ST ou dans la transition. La vapeur déchargée de BP ST est envoyée au condenseur de surface de vapeur.

L'eau de mer est amenée à l'intérieur de l'usine à travers quatre (4) tuyaux d'admission de diamètre 2 300mm. Le tuyau d'admission est relié à un puisard d'admission d'eau de mer commun.

Il y a sept (7) numéros de chambres de pompe. Six (6) nos. Des chambres de pompe sont utilisées pour six (6) nos. Des pompes à eau en circulation et la septième chambre est utilisée pour installer deux (2) nos. Des pompes d'alimentation de l'usine de dessalement.

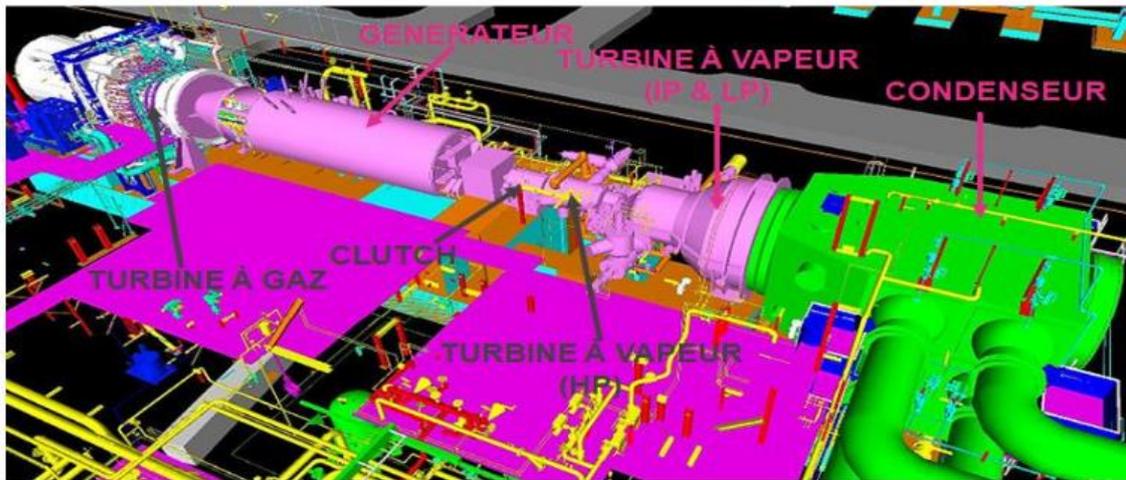


Figure VI. 1 : Schéma d'installation d'un cycle combiné gaz-vapeur. [25]

VI.2. Paramètres de fonctionnement

Les divers paramètres de fonctionnement de la centrale aux conditions de référence ci-dessus et à une charge de 100 % sont les suivants :

Tableau VI. 1 : Les Paramètres de fonctionnement de la nouvelle centrale

Description	Unités	Gaz naturel	Huile
Puissance de sortie nette de chaque bloc	MW	377	311,3
Taux de chaleur net de la centrale	KJ/KWh	6165	6599
Puissance de sortie de la turbine à gaz	MW	249,2	210,5
Puissance de sortie de la turbine à vapeur	MW	127,8	100,8
Consommation de combustible	kg/s	14,3	13,24
T du gaz d'échappement	°C	607,6	557,4
Débit du gaz d'échappement	kg/s	616,2	610,9
P de sortie HP	Bar (a)	120,81	101,81
T de sortie HP	°C	566,50	530,10
Pr d'entrée de la turbine à vapeur HP	Bar (a)	117,92	99,39
T d'entrée de la turbine à vapeur	°C	565,02	528,27

La suite de Tableau

Description	Unités	Gaz naturel	Huile
Débit de la vapeur HP	kg/s	71,99	61,66
Pression de sortie du réchauffeur	Bar (a)	29,91	25,91
T de sortie du réchauffeur	°C	565,70	526,20
P d'entrée de la turbine à vapeur MP	Bar (a)	29,10	25,20
T de sortie de la turbine à vapeur MP	°C	564,94	524,99
Débit de la vapeur MP	kg/s	71,99	76,02
P de sortie MP	Bar (a)	31,31	27,11
T de sortie MP	°C	337,50	324,30
P de sortie BP	Bar (a)	4,51	4,21
T de sortie BP	°C	232,60	237,70
Flux de vapeur de sortie de BP	kg/s	10,14	2,58
Flux d'échappement de turbine BP	kg/s	98,25	80,31

Tableau VI.2 : Les Paramètres de fonctionnement de la nouvelle centrale
(avec allumage à gaz naturel et à mazout)

Description	Unités	(à gaz naturel)	(à mazout)
Débit d'entrée de HP	Kg/s	71,99	61,66
Débit d'entrée MP	Kg/s	23,57	17,03
P de retour du condenseur	Bar (a)	0,0514	0,0464
T d'entrée du condenseur	°C	24	24
T de condenseur	°C	30	28,63

VI.3. Calcul des caractéristiques thermodynamiques de la nouvelle centrale

Parmi les caractéristiques thermodynamiques qui sont indispensables on débutera par calcul du rendement.

VI.3.1 Le rendement de cycle

Le rendement d'un cycle est le rapport entre le travail utile et la chaleur fournie par la source chaude (chaudière).

Il définit par :

$$\eta_{\text{Cycle}} = W_{\text{utile}} / Q_{\text{ch}} \quad (\text{VI.1})$$

Tel que :

$$W_{\text{utile}} = W_t - W_p \quad (\text{VI.2})$$

$$W_t = (W_{\text{TV}} + W_{\text{TG}})$$

W_t : le travail de la turbine.

W_p : le travail des pompes.

Q_{ch} : quantité de chaleur fournie par la chaudière.

En remplaçant l'équation (VI.2) dans (VI.1), on obtient :

$$\eta_{\text{Cycle}} = (W_t - W_p) / Q_{\text{ch}} \quad (\text{VI.3})$$

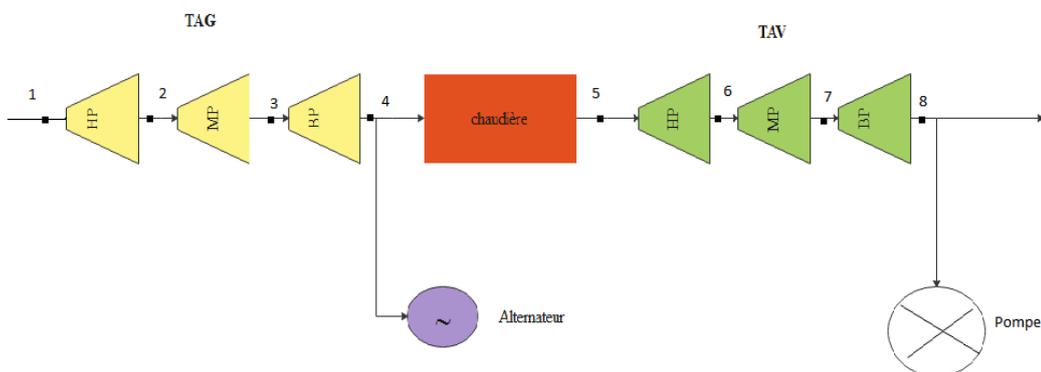


Figure VI. 2: Schéma simplifié de la nouvelle installation.

VI.3.2. Les différentes parties de la nouvelle centrale

a. Partie de la turbine à gaz

La centrale à cycle combiné Cap-Djinet se compose de trois (3) turbines à gaz **SGT5-4000F de Siemens**. Les turbines à gaz à chambre de combustion annulaire de Siemens sont des machines à arbre unique d'un modèle à un boîtier. Un rotor commun est partagé par le compresseur et la turbine. Le rotor est supporté dans deux paliers qui se trouvent à l'extérieur de la zone sous pression. Une enveloppe extérieure commune retenant la pression est également partagée par le compresseur et la turbine. Il comprend différentes sections. Les sections de cuvelage sont boulonnées ensemble et forment une unité cylindrique rigide qui transmet toutes les forces qui se produisent pendant le transport et le fonctionnement aux supports. Le boîtier repose sur des supports sur le socle de roulement avant et sur le boîtier externe arrière. Le compresseur est un compresseur axial à haut rendement à 15 étages avec répartition de débit optimisée. Chaque étage comprend une rangée de pales de rotor et une rangée d'aubes.

La turbine à gaz est conçue pour le double allumage. Le gaz naturel doit être utilisé comme combustible primaire et le mazout distillé doit être utilisé comme combustible de secours. La turbine à gaz est conçue pour fonctionner à 100% de charge en tirant du gaz naturel et du mazout.

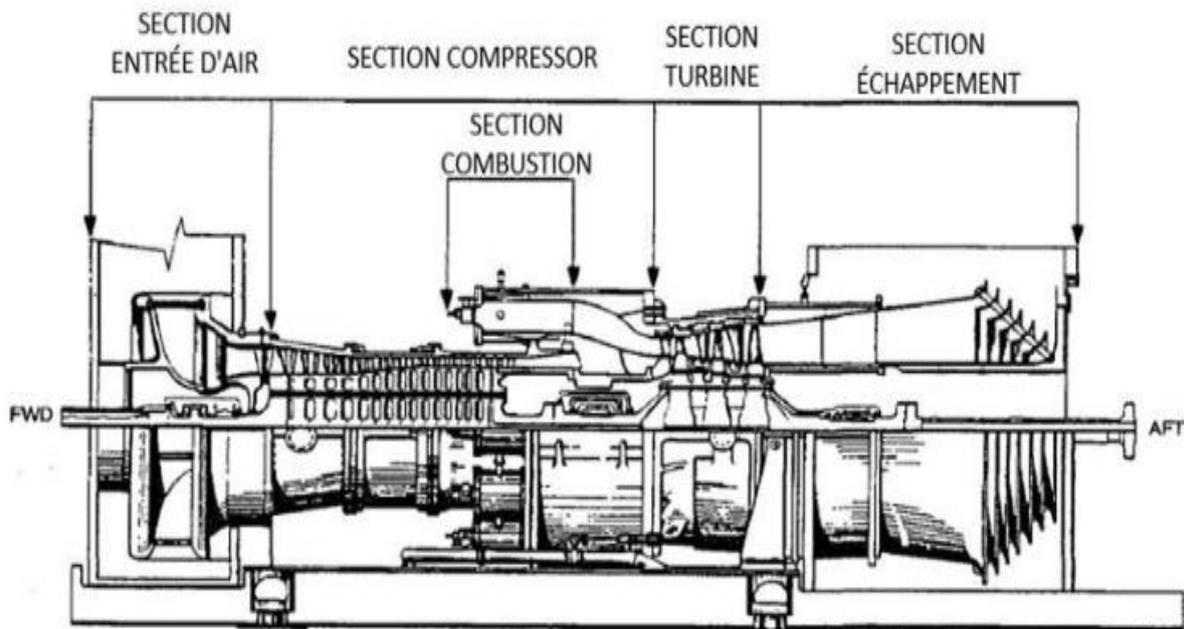


Figure VI. 3: Schéma de la turbine à gaz.

➤ Les données de l'installation

Tableau VI.3 : Les Paramètres thermodynamiques de turbine à gaz Cap Djinet.

TG	T (k)	P (bar)	h (kJ/kg)
HP	T ₁ =854,2	P ₁ =112	h ₁ = ?
	T ₂ = ?	P ₂ =27,1	h ₂ = ?
MP	T ₂ = ?	P ₂ =27,1	h ₂ = ??
	T ₃ = ?	P ₃ =3	h ₃ = ?
BP	T ₃ = ?	P ₃ =3	h ₃ = ?
	T ₄ =297	P ₄ = ?	h ₄ = ?

✓ Calcul de la température sortie corps HP

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (\text{VI.4})$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_2 = 563,49 \text{ k}$$

✓ Calcul la température entrée corps BP

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_3 = T_2 \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_3 = 300,46 \text{ k}$$

✓ Calcul la pression a sortie corps BP

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$P_4 = 2,88 \text{ bar}$$

✓ Calcul de la Capacité calorifique C_p de turbine à gaz

$$C_{p(g)T} = 1,8083 \cdot 10^{-3} - 2,3127 \cdot 10^{-6} (T + 4,045 \cdot 10^{-6}) (T^2) - 1,7363 \cdot 10^{-9} (T^3)$$

Tableau VI.4 : les capacités calorifiques.

C_{pT1} (kJ/kg.K)	C_{pT2} (kJ/kg.K)	C_{pT3} (kJ/kg.K)	C_{pT4} (kJ/kg.K)
1809,27	1806,99	1807,97	1807,97

✓ Calcul l'enthalpie

$$h = C_p \Delta T \quad (VI.5)$$

$$h_1 = C_{pT2} \cdot T_2 - C_{pT1} \cdot T_1$$

$$h_1 = 510,97 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = C_{pT3} \cdot T_3 - C_{pT2} \cdot T_2$$

$$h_2 = 963,84 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_3 = C_{pT4} \cdot T_4 - C_{pT3} \cdot T_3$$

$$h_3 = 6,255 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_4 = C_{pT1} \cdot T_1 - C_{pT4} \cdot T_4$$

$$h_4 = 992,22 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Tableau VI.5 : résultats après les calculs.

TG	T (k)	P (bar)	h (kJ/kg)
HP	$T_1 = 845,2$	$P_1 = 112$	$h_1 = 510,97 \cdot 10^3$
	$T_2 = 563,49$	$P_2 = 27,1$	$h_2 = 963,84 \cdot 10^3$
MP	$T_2 = 563,49$	$P_2 = 27,1$	$h_2 = 963,84 \cdot 10^3$
	$T_3 = 300,46$	$P_3 = 3$	$h_3 = 6,255 \cdot 10^3$
BP	$T_3 = 300,46$	$P_3 = 3$	$h_3 = 6,255 \cdot 10^3$
	$T_4 = 279$	$P_4 = 2,88$	$h_4 = 992,22 \cdot 10^3$

✓ **Calcul du travail****Corps HP**

$$W_{12} = h_2 - h_1 \quad (VI.6)$$

$$W_{12} = 452,87 \cdot 10^3 \text{ KJ/kg}$$

Corps MP

$$W_{23} = h_3 - h_2$$

$$W_{23} = -957,585 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Corps MP

$$W_{34} = h_4 - h_3$$

$$W_{34} = 985,965 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

✓ **Le travail total de la turbine à gaz**

$$W_{TG} = W_{12} + W_{23} + W_{34}$$

$$W_{TAG} = 481,25 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

b. Partie de la chaudière

La fonction de la chaudière auxiliaire est de fournir le besoin en vapeur auxiliaire pendant la mise en marche de l'installation. En outre les chaudières doivent également fournir de la vapeur à l'usine de dessalement. Il y a deux (2) type 2 tambours, à circulation naturelle, à fond de tube à eau supporté et à chaudière auxiliaire au fioul / gaz naturel sont envisagés.

La capacité de vapeur de chaque chaudière est de 8 tonnes / heure à 20,5 bar (g). La chaudière comporte trois (3) ensembles (3 x 50%) de pompes d'alimentation de chaudière communes aux deux chaudières. Un ventilateur d'air forcé (1X100%) par chaudière auxiliaire est prévue.

comporte une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale ainsi qu'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur de secours. La vapeur principale est admise à travers les conduites de vapeur, en passant d'abord par la vanne d'arrêt puis par la vanne de régulation. La vanne d'arrêt principale permet d'isoler la turbine de la conduite de vapeur principale et peut rapidement interrompre l'alimentation en vapeur de la turbine.

Le carter extérieur MP et BP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement.

➤ **Les données de l'installation**

Tableau VI.6 : Les paramètres thermodynamiques de la turbine à vapeur.

Description	Unités	gaz naturel	huile
Débit de la vapeur HP	kg/s	71,99	61,66
P de sortie	Bar (a)	29,91	25,91
T de sortie	°C	565,70	526,20
P d'entrée TAV MP	Bar (a)	29,10	25,20
T de sortie de la turbine à vapeur MP	°C	564,94	524,99
Débit de la vapeur MP	kg/s	71,99	76,02
P de sortie MP	Bar (a)	31,31	27,11
T de sortie MP	°C	337,50	324,30
P de sortie BP	Bar (a)	4,51	4,21
T de sortie BP	°C	232,60	237,70
Flux de sortie BP	kg/s	10,14	2,58
Flux d'échappement BP	kg/s	98,25	80,31
T d'échappement de turbine BP	°C	33,35	31,56

Tableau VI.7: Les Paramètres thermodynamiques de turbine à vapeur Cap Djinet.

TAV	T (k)	P (bar)	h (kJ/kg)
HP	$T_5 = 604,4$	$P_5 = 113$	$h_5 = ?$
	$T_6 = 565,7$	$P_6 = 27,1$	$h_6 = ?$
MP	$T_6 = 565,7$	$P_6 = 27,1$	$h_6 = ??$
	$T_7 = 564,94$	$P_7 = 3$	$h_7 = ?$
BP	$T_7 = 564,94$	$P_7 = 3$	$h_7 = ?$
	$T_8 = 232,60$	$P_8 = ?$	$h_8 = ?$

- ✓ **Calcul la pression sortie corps BP**

$$\frac{T_8}{T_7} = \left(\frac{P_8}{P_7}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$P_8 = P_7 \left(\frac{T_8}{T_7}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$P_8 = 0,13 \text{ bar}$
--

- ✓ **Calcul l'enthalpie**

$$h = C_p \Delta T$$

$$C_p = 4,18 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_5 = C_p (T_5 - T_4)$$

$h_5 = 1360,172 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$

$$h_6 = C_p (T_6 - T_5)$$

$h_6 = 161,76 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$

$$h_7 = C_p (T_7 - T_6)$$

$h_7 = 3,17 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$

$$h_8 = C_p (T_8 - T_7)$$

$$h_8 = 1389,1 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Tableau VI.8: résultats après les calculs.

TAV	T (k)	P (bar)	h (kJ/kg)
HP	$T_5 = 604,4$	$P_5 = 113$	$h_5 = 1360,172 \cdot 10^3$
	$T_6 = 565,7$	$P_6 = 27,1$	$h_6 = 161,76 \cdot 10^3$
MP	$T_6 = 565,7$	$P_6 = 27,1$	$h_6 = 161,76 \cdot 10^3$
	$T_7 = 564,94$	$P_7 = 3$	$h_7 = 3,17 \cdot 10^3$
BP	$T_7 = 564,94$	$P_7 = 3$	$h_7 = 3,17 \cdot 10^3$
	$T_8 = 232,60$	$P_8 = 0,13$	$h_8 = 1389,1 \cdot 10^3$

✓ Calcul d travail

Corps HP

$$W_{56} = h_6 - h_5$$

$$W_{56} = 1198,406 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Corps MP

$$W_{67} = h_7 - h_6$$

$$W_{67} = 158,59 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Corps BP

$$W_{78} = h_8 - h_7$$

$$W_{78} = 1385,93 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

Le travail total de la turbine à vapeur

$$W_{Tv} = W_{56} + W_{67} + W_{78}$$

$$W_{Tv} = 274,28 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

d. Partie des pompes

La fonction de la pompe d'alimentation est de fournir l'eau d'alimentation du tambour/désaérateur de BP à la section économiseur HP et à travers un purgeur intermédiaire, au circuit de pression intermédiaire (MP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Ces pompes fournissent également de l'eau au désurchauffeur à haute pression (HP), au désurchauffeur de réchauffage, au réchauffeur de performance de gaz combustible et à la station de dérivation HP.

Deux pompes d'alimentation HRSG horizontales à deux positions sont fournies pour chaque bloc de la centrale à cycle combiné.

La pompe est une pompe centrifuge horizontale à plusieurs étages à fendage radial et à barillet. Elle adopte la structure du disque d'équilibrage et de la multi-volute pour équilibrer les poussées axiales et radiales.

✓ **Calcul le travail de la pompe**

Il y a deux pompe alimentaire :

$$W_P = 2(h_9 - h_8) \quad (VI.9)$$

$$h_9 = C_p (T_9 - T_8)$$

$$h_9 = 367,45 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_P = 732,31 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

✓ **Calcul le rendement de cycle**

Tel que :

$$\eta_{\text{Cycle}} = W_{\text{utile}} / Q_{\text{ch}}$$

$$W_{\text{utile}} = (W_{T_v} + W_{T_g}) - W_p$$

$$W_{\text{utile}} = 23,27 \cdot 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{\text{Cycle}} = (W_t - W_p) / Q_{\text{ch}}$$

$$\eta_{\text{Cycle}} = [(W_{T_v} + W_{T_g}) - W_p] / Q_{\text{ch}}$$

$$\eta_{\text{Cycle}} = 0.632$$

$$\eta_{\text{Cycle}} = 63,2 \%$$

Tableau VI.9: Tableau récapitulatif des performances de nouvelle l'installation de Cap-Djinet.

Installation de nouvelle central Cap-Djinet	
Travail de TG du corps HP (kJ/kg)	452,87.10 ³
Travail de TG du corps MP (kJ/kg)	-957,585.10 ³
Travail de TG du corps BP (kJ/kg)	985,965.10 ³
Quantité de chaleur fournie par la chaudière (kJ/kg)	36,79.10 ³
Travail de TV du corps HP (kJ/kg)	1198,4.10 ³
Travail de TV du corps MP (kJ/kg)	158,59.10 ³
Travail de TV du corps BP (kJ/kg)	1385,93.10 ³
Travail de la pompe (KJ/Kg)	732,316.10 ³
Travail utile (KJ/Kg)	23,27.10 ³
Le rendement global (%)	63,2

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons arrivées à calculer les performances de la nouvelle centrale à cycle combiné qui a débuté de fonctionner en mars 2019, ceci a été réalisée par faire un bilan énergétique de la centrale en divisant les calculs par sections tel que les turbines, chaudière et la pompes. Les résultats que nous avons trouvés restent satisfaisant vis-à-vis de la nouveauté ainsi que la combinaison des turbines gaz et vapeur.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

L'exigence des consommateurs d'énergie électrique tant en quantité (puissance demandée de plus en plus croissante) qu'en qualité (continuité de service avec un minimum de coupure) poussent les responsables de notre pays à donner une grande importance aux centrales, ainsi la construction des nouvelles centrales de différents types en Algérie est en progression constante. Le secteur de l'énergie est l'un des secteurs les plus stratégiques pour l'économie, l'importance de son rôle dans l'épanouissement d'un pays est énorme. La plupart des pays développés portent un grand intérêt à ce secteur.

En effet, la croissance importante qui a caractérisé l'évolution de l'utilisation de l'énergie électrique en Algérie ces dernières années a engendré une certaine complexité dans la conception, la réalisation et l'exploitation des œuvres de production.

Durant notre visite à la nouvelle centrale électrique de CAP-DJINET, nous avons eu l'opportunité de nous rapprocher de domaine industriel et plus particulièrement de celui de la production de l'électricité.

L'objectif de notre travail est faire un bilan énergétique sur cette nouvelle centrale à cycle combiné afin d'arriver à calculer le rendement en passant par plusieurs étapes vue la complexité technologique récemment utilisé.

On a eu l'avantage d'être parmi les premières à travailler sur cette nouvelle installation qui a été mis en marche en mi 2019. Nous avons trouvé des résultats satisfaisant comparativement à l'ancienne centrale à vapeur.

En perspectives nous proposons aux futur étudiants de contribuer à l'amélioration de performances énergétiques de cette nouvelle installation par simulation numérique afin de régler quelques problèmes qui persistes souvent.

Références
Bibliographiques

- [1] : KWU : Service de formation professionnelle, fichier de la centrale thermique de Cap DJINET/ Numéro d'enregistrement 5525.
- [2] : documentation interne de l'entreprise (archive).
- [3] : documentation de la centrale Major Mechanica I Components_ power point _ Le 23-05-2018.
- [4] : https://www.researchgate.net/profile/lotfi_snoussi/publication/282152071_ameelioration_du_rendement_de_la_turbine_a_gaz_par_refroidissement_de_l'aire/links/59bd034da6fdcca8e567aac6/amelioration-du-rendement-de-la-turbine-a-gaz-par-refroidissement-de-l'air.
- [5] : <https://www.mechgride.com/gaz-turbine-and-classification-of-gaz-trbine.html>.
- [6] : Documentations de la société : 'combined cycle gas and steam power plants', Rolf kahlhorf.
- [7] : Documentations de la société sur « Gaz Turbine ».
- [8] : Ingénieur, Jean-Marie MONTEIL Centrale à cycle combiné. Théorie, performances, modularité Techniques de l'Ingénieur, be8905 %%%.
- [9] : mémoire de fin d'études, "Malouadjmi Nouara" et "Touati Maria", Etude hybride de la centrale de cap-Djinet avec un cycle à gaz, 2018.
- [10] : Documentations de la société, PowerPoint Turbine à vapeur rappelles du cycle thermique et fonctionnel Cap-Djinet.
- [11] : <https://w.nuclear-power.net/nuclear-power-plant/turbine-generator-power-conversion-system/what-is-steam-turbine-description-and-characteristirs/classifiatiion-of-turbines-steam-suppland-exhaust-conditions/>.
- [12]: Documentation de la Centrale; steam Turbine-Reminders of the thermal cycle and functional.
- [13]: <https://www.360training.com/blog/steam-turbines-application/>.
- [14]: Documentation de la Centrale; steam Turbine-Reminders of the thermal cycle and functional, Power Point.
- [15] : Mémoire de MASTER, Etude comparative des performances des trois centrales thermiques de production de l'énergie électrique ; dont cycle à vapeur, cycle à gaz et cycle combiné, " Kaddache Karima" et "Naluwembe Sana Siraj Musanje", 2017 Boumerdès.
- [16] : 'Centrales électriques diesel', consulte le 15/06/2018, sur le site : [http://www.sauercompressors.com/fr/industrie/production%20denergie/centrales électriques-Diesel/](http://www.sauercompressors.com/fr/industrie/production%20denergie/centrales%20electriques-Diesel/).
- [17] : 'Centrale thermique turbine Vapeur', consulte le 15/06/2018, sur le site : http://www.steg.com.tn/fr/institutionnel/tech_vapeur.html.

- [18] : ‘centrales hydroélectriques’ consulte le 15/06/2018, sur le site :
<https://www.nbpower.com/fr/about-us/learning/learn-about-electricity/hydro/>.
- [19] : ‘Schéma d'une centrale à turbine de gaz’, consulte le 15/06/2018, sur le site :
http://www.les.eoliennes.be/économie_éolien/turbine_gaz.htm.
- [20] : ‘centrale à cycle combiné’, consulte le 15/06/2018, sur le site :
<https://www.vivafrik.com/2017/12/27/siemens-et-rotan-power-construisent-une-centrale-de-660-mw-au-ghana-a14153.html>
- [21] : ‘Avantages et inconvénients des centrales à cycle combiné’, consulte le 15/06/2018, sur le site https://www.fournisseurs-electricite.com/infos-pratiques-sur-le_fournisseurs_électricité/les-centrales-électriques/cycle-combine.
- [22] : ‘centrale photovoltaïque’, consulte le 15/06/2018, sur le site :
<http://lorgues.nature.overblog.com/article-petite-introduction-aux-systemes-photovoltaïques-57446073.html>.
- [23] : ‘Avantages et Inconvénients de centrale photovoltaïque’, consulte le 15/06/2018, sur le site : <http://unblogsurlaterre.com/actualites-environnement-sur-la-terre/avantages-et-inconvénients-énergie-solaire-011/>.
- [24] : <https://www.geolimousin.fr/quest-ce-que-la-geothermie-fonctionnement-avantages-inconvenients/>.
- [25] : HAL, Cycle thermodynamiques des machines thermiques Éric Gonçalvès da Silva, Jean Paul Thibault 2008.

Annexe

